# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

WOCHENSCHRIFT FÜR DIE FORTSCHRITTE DER NATURWISSENSCHAFT, DER MEDIZIN UND DER TECHNIK

HERAUSGEGEBEN VON

DR. ARNOLD BERLINER UND PROF. DR. AUGUST PÜTTER

Sechster Jahrgang. 6. Dezember 1918. Heft 49.

## Das δ Cephei-Problem.

*Von Prof. Dr. P. Guthnick, Berlin-Babelsberg.*

Die auf der hiesigen Sternwarte angestellten lichtelektrischen Untersuchungen — der erste Teil des Berichtes darüber ist 1914 erschienen, der zweite[1]) Anfang 1918 vollendet worden — sind hauptsächlich dem Problem der Veränderlichen vom δ Cephei-Typus und Verwandten gewidmet. Das Problem, dessen Bedeutung weit über die Grenzen seines Spezialgebietes hinausreicht, kann kurz wie folgt ausgesprochen werden: *Ist der Lichtwechsel der genannten Veränderlichen (zu denen im weiteren Sinne die Veränderlichen vom Mira-, R Sagittae- und vielleicht auch vom U Geminorum-Typus zu rechnen sein werden) auf die Einwirkung eines nahen Begleiters zurückzuführen, oder wird er allein durch innere Vorgänge in diesen Veränderlichen erzeugt?*

Schon in den beiden ältesten Theorien der physischen Veränderlichen, der Klinkerfuesschen Gezeitentheorie und der Zöllnerschen, sehr primitiven Fleckentheorie, sind die beiden entgegengesetzten Standpunkte vertreten. Die Frage schien zugunsten der Klinkerfues-Wilsingschen oder einer ähnlichen Anschauung, d. h. zugunsten der Doppelstern-Annahme entschieden, als es *Belopolsky* 1894 gelang, im Spektrum von δ Cephei mit der *Periode des Lichtwechsels verlaufende Linienverschiebungen* nachzuweisen, die sich durch die Annahme einer elliptischen Bahnbewegung darstellen ließen. Nach und nach sind solche dem Lichtwechsel parallel verlaufenden, periodischen Linienverschiebungen auch bei den anderen helleren δ Cephei-Sternen und Verwandten festgestellt worden. Allein, statt daß die Sachlage dadurch geklärt wurde, gestaltete sie sich im Gegenteil immer rätselhafter. Zunächst ist der merkwürdige Umstand zu erwähnen, daß in keinem einzigen Falle die zweite (schwächere) Komponente des Systems durch ihre Linien im Spektrum sich sicher nachweisen ließ, was bei anderen spektroskopischen Doppelsternen doch häufig genug möglich gewesen ist[2]). Vor allem aber wollte es durchaus nicht gelingen, auf Grund der Doppelstern-Annahme einen zwangläufigen Mechanismus zu ersinnen, der allen beobachteten Erscheinungen, den Helligkeitsschwankungen einerseits und den veränderlichen Linienverschiebungen und sonstigen spektralen Vorgängen andererseits, gerecht wurde. Eine Zeitlang zwar schien dies Ziel in erreichbare Nähe gerückt, als nämlich *S. Albrecht* ein allgemeines, den δ Cephei-Lichtwechsel beherrschendes Gesetz gefunden zu haben glaubte. Es sagt aus, daß das Helligkeitsmaximum ungefähr mit dem Zeitpunkt der schnellsten Annäherung der helleren, im Spektrum allein sichtbaren Komponente des Systems zusammenfalle, d. h. mit dem negativen Maximum der Radialgeschwindigkeit derselben, das Helligkeitsminimum mit der schnellsten Entfernung, d. h. mit dem positiven Maximum der Radialgeschwindigkeit, zusammenfalle. Auf diese Gesetzmäßigkeit wurde von *Curtiss* und von *Loud* eine Theorie des Lichtwechsels aufgebaut, deren Gedankengang in korrekter Form kurz folgender ist: Das System des Veränderlichen ist in ein widerstehendes Mittel eingehüllt, das die Komponenten auf der — relativ zur Bewegungsrichtung — vorderen Seite erhitzt, so daß diese stärker leuchtet als die hintere Seite. Der Beitrag der helleren Komponente zum Lichtwechsel ist der bei weitem überwiegende. Damit nicht gewisse Schwierigkeiten physikalischer Natur sich erheben, muß die Rotationszeit gleich der Umlaufszeit in der Bahn angenommen werden, was auch aus mechanischen Gründen das wahrscheinlichste ist[1]). (Statt einer Erhitzung nimmt *Duncan* Verdrängung der Atmosphäre von der Vorderseite infolge des Widerstandes an. Besonders die letztere Vorstellung würde manche der photometrischen und spektralen Erscheinungen recht gut erklären, wenn die Albrechtsche Regel einen allgemeingültigen Charakter besäße.) In Wirklichkeit haben aber spätere, auf vollkommnerem Tatsachenmaterial beruhende Untersuchungen ergeben, daß die Zeiten der Maxima und Minima der Helligkeit in der Regel merklich *vor* der Zeit der schnellsten Annäherung bezw. Entfernung der helleren Komponente eintreten, in einzelnen Fällen auch beträchtlich *nach* diesen Zeiten. Im ersten Falle gehen die Abweichungen der Länge in der Bahn bis zu mehr als 60°, im

[1]) *P. Guthnick* und *R. Prager*, Photoelektrische Untersuchungen an spektroskopischen Doppelsternen und an Planeten. II. Veröff. der Kgl. Sternwarte zu Berlin-Babelsberg, Bd. *II*, Heft 3. Berlin, Ferd. Dümmler, 1918. VI, 164 S., 17 Tafeln.

[2]) Man nimmt an, daß die zweite Komponente nicht mehr als höchstens 2 Größenklassen schwächer sein darf als die hellere, um noch durch ihre Linien im Spektrum nachweisbar zu sein.

[1]) Diese Annahme hat, nebenbei bemerkt, zur Folge, daß jede der beiden Komponenten bei kreisförmiger Bahn unverrückt im Zenit eines festen Punktes der Oberfläche der anderen steht, bei elliptischer Bahn dagegen periodisch um das Zenit dieses Punktes pendelt, wobei gleichzeitig der Abstand der beiden stets einander zugekehrten Oberflächengebiete periodisch um einen Mittelwert schwankt.

zweiten bis zu mehr als 70°. Auch der lichtelektrisch entdeckte δ Cephei-Veränderliche β Cephei bestätigt die Regel nicht. Mit derselben stehen und fallen aber auch die erwähnten Theorien, abgesehen von anderen Schwierigkeiten, die sich bei näherer Überlegung ergeben hatten.

Noch zwei mit der Doppelstern-Annahme wesentlich zusammenhängende Punkte sind zu erwähnen. Vergleicht man bei den gewöhnlichen spektroskopischen Doppelsternen, deren Bahnelemente hinreichend genau bekannt sind, die *Bahnexzentrizität* mit der Umlaufszeit, so findet man, daß im großen ganzen die Exzentrizität mit wachsender Umlaufszeit zunimmt; für die ganz kurzen Umlaufszeiten ist die Exzentrizität in der Regel verschwindend klein. Da im allgemeinen mit kurzer Umlaufszeit geringer Abstand der Komponenten verbunden sein wird, so war diese Beziehung a priori zu erwarten. Ihr ordnen sich jedoch die δ Cephei-Sterne keineswegs ein. Die Bahnexzentrizität dieser Sterne ist durchschnittlich um das Vielfache größer als die der gewöhnlichen spektroskopischen Doppelsterne gleicher Umlaufszeit, und ein Anwachsen der Exzentrizität mit der Periodenlänge findet nicht statt. Der zweite Punkt betrifft die Massenfunktion $f(m_1, m_2) = \frac{m_2^3 \sin^3 i}{(m_1 + m_2)^2}$, die eine aus den Radialgeschwindigkeiten abzuleitende Beziehung zwischen den Massen $m_1$ und $m_2$ der beiden Komponenten darstellt. Unter i ist das Komplement der Neigung der Bahnebene gegen die Gesichtslinie zu verstehen. Während *der in Einheiten der Sonnenmasse ausgedrückte Wert der Massenfunktion* bei den gewöhnlichen spektroskopischen Doppelsternen mit wenigen Ausnahmen zwischen den Grenzen 0,01 und 1 liegt, ist er bei allen bisher untersuchten δ Cephei-Sternen kleiner als 0,01 und im Durchschnitt nur einige Tausendstel. Da es aus verschiedenen Gründen nicht wahrscheinlich ist, daß i für die δ Cephei-Sterne im Durchschnitt kleiner ist als für die gewöhnlichen spektroskopischen Doppelsterne, so bedeutet die Kleinheit der Massenfunktion, daß bei den δ Cephei-Sternen die Masse $m_2$ der schwächeren (im Spektrum unsichtbaren) Komponente klein im Verhältnis zur Masse $m_1$ der helleren Komponente sein muß. Nun läge es ja nahe, anzunehmen, daß große Exzentrizität der Bahn bei kurzer Umlaufszeit, d. h. geringem Abstand der Komponenten, das Zustandekommen eines δ Cephei-Lichtwechsels begünstige. Aber weshalb ist dann nicht in allen, oder mit Rücksicht auf die Neigung i, wenigstens in viel zahlreicheren Fällen beträchtlicher Exzentrizität bei kurzer Umlaufszeit ein solcher Lichtwechsel vorhanden? Welche Rolle spielt dabei das Massenverhältnis $m_2 : m_1$?

Die aus der Doppelstern-Annahme entspringenden Schwierigkeiten bewirkten, daß in den letzten Jahren mehr und mehr die Neigung sich geltend machte, diese Annahme bezüglich der δ Cephei- und verwandten Sterne zu verlassen und eine andere Erklärung zu versuchen. Die *neue Hypothese*, die in klarer und bestimmter Weise zuerst von *Shapley* formuliert worden ist, geht von der theoretisch begründeten Möglichkeit aus, daß *die Masse eines gasförmigen Himmelskörpers Schwingungen (Pulsationen) vollführt*, deren Hauptglied praktisch unbegrenzte Zeit bestehen kann, ohne von den Reibungswiderständen vernichtet zu werden. Den ursprünglichen Anlaß zu solchen Schwingungen muß eine gewaltsame Störung des Gleichgewichtes gebildet haben. Die Periode einer jeden der möglichen Schwingungen hängt unter gewissen Voraussetzungen nur von der Dichte der Gaskugel, nicht von ihrer Masse, ab; sie ist umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Dichte. Die Hauptschwingung, d. h. die der längsten Periode und größten Amplitude, ist die aus einer Deformation nach der Oberflächenkugelfunktion 2. Ordnung entspringende. Die Hauptschwingungsdauer einer „polytropen" Gaskugel von der mittleren Dichte der Sonne beträgt sehr nahe 2 Stunden. Diese Betrachtungen gelten jedoch nur für sehr kleine Schwingungsamplituden[1]).

Die bei den δ Cephei-Sternen beobachteten periodischen *Linienverschiebungen* wären danach als *Dopplereffekte* auf die *Schwingungen* der Oberfläche des Veränderlichen zurückzuführen, wenn man nicht Druckeffekte oder andere noch unbekannte Effekte von einem Betrage annehmen will, wie sie sonst noch nicht beobachtet worden und ganz unwahrscheinlich sind. Der *Lichtwechsel* wird nach der Vorstellung *Shapleys* dadurch erzeugt, daß *die Photosphäre* des Sternes periodisch *von heißen Massen* aus dem Innern *durchbrochen* wird.

Die Pulsationstheorie ist ohne Zweifel sehr bestrickend und anregend. Einige der bisher mehr oder weniger rätselhaft gebliebenen, an den δ Cephei-Sternen beobachteten Tatsachen, z. B. das Fehlen der zweiten Komponente im Spektrum, vermag sie zwanglos zu erklären. Dafür entstehen aber bei näherer Überlegung neue große Schwierigkeiten, die kaum zu beseitigen sein werden. Die Anwendung der Pulsationstheorie auf die δ Cephei-Sterne verlangt zunächst an Stelle der von der Theorie betrachteten sehr kleinen Massenverschiebungen riesengroße Schwingungsamplituden, um die beobachteten Schwankungen der Radialgeschwindigkeiten zu erklären; ferner Schwankungen der gesamten ausgestrahlten Energie von 100 % und mehr, die in vielen Fällen sich in Zeiträumen von wenigen Stunden — die Perioden der δ Cephei-Sterne gehen herab bis zu 3¼ Stunden — abspielen sollen, und in Massen, die doch wohl von der Größenordnung der Sonnenmasse sind. Diese Schwankungen sollen bei manchen dieser Sterne durch längere Zeiträume hindurch mit fast absoluter Regelmäßigkeit vor sich gehen. Periodische Temperaturschwankungen von dieser

[1]) *Emden*, Gaskugeln.

Schnelligkeit und dem erforderlichen Betrage (1000° und mehr) können nur als sehr unwahrscheinlich angesehen werden, allgemeine Absorptionsschwankungen in den Sternatmosphären, die den gleichen Effekt erzielen, kaum minder.

Kurz vor der Aufstellung der Pulsationstheorie, im Winter 1913—14, war nach Erprobung der lichtelektrischen Methode an einem besonders geeigneten Prüfungsobjekt von uns beschlossen worden, das δ Cephei-Problem von einer anderen Seite als bislang anzufassen. Der nach und nach sich herauskristallisierende leitende Gedanke war der: Sind die δ Cephei-Sterne und Verwandten enge Doppelsternsysteme mit einer der Lichtwechselperiode gleichen Umlaufs- und Rotationszeit, so müssen, weil nicht alle spektroskopischen Doppelsterne mit nicht zu langer Periode Veränderliche vom δ Cephei-Typus sind, *besondere*, das Auftreten des Lichtwechsels *begünstigende* Umstände vorliegen.

Das schließt aber nicht aus, daß auch bei den gewöhnlichen spektroskopischen Doppelsternen kurzer Periode *Spuren eines mit dem Umlauf in der Bahn synchronen Lichtwechsels* vorhanden sind, die nur wegen ihrer Geringfügigkeit und der verhältnismäßig geringen Genauigkeit der älteren astrophotometrischen Methoden *bisher der Wahrnehmung sich entziehen konnten.*

Wären insbesondere solche Helligkeitsschwankungen an denjenigen spektroskopischen Doppelsternen nachweisbar, in deren Spektren die Linien der zweiten Komponente zweifellos sichtbar sind, und verrieten sie überdies vielleicht noch einen merklichen Einfluß der zweiten Komponente auf die Lichtkurve, so müßte dies ein schwerwiegendes Argument zugunsten der Doppelstern-Natur der δ Cephei-Sterne bilden. Weitere Kriterien könnte ferner die Auffindung solcher Fälle liefern, in denen augenscheinlich ein δ Cephei-Lichtwechsel mit einem echten Bedeckungslichtwechsel (Algol) vermischt auftritt, da der letztere naturgemäß ein Doppelsternsystem zur Voraussetzung hat.

Bereits in dem ersten Teil unserer Untersuchungen konnten wir es wahrscheinlich machen, daß mit spektroskopischer Duplizität — vorsichtiger ausgedrückt, mit periodischen Linienverschiebungen — in der Regel kontinuierliche Helligkeitsschwankungen verbunden sind, die in der gleichen Periode wie die Linienverschiebungen verlaufen. Unter den aufgefundenen Fällen waren einige, deren Doppelstern-Natur in Anbetracht des zusammengesetzten Charakters des Spektrums nicht wohl angezweifelt werden kann, auch wenn man periodische Schwankungen der Spektrallinien in einem scheinbar einfachen (nicht offensichtlich aus zwei übereinander gelagerten Komponenten bestehenden) Spektrum für einen hinreichenden Beweis der Duplizität nicht gelten lassen will. Weitere Fälle, in denen anscheinend δ Cephei- und Bedeckungslichtwechsel zugleich vorhanden ist, wurden dann bald darauf gefunden und an anderer Stelle veröffentlicht. Alle diese Fälle sind im zweiten Teil eingehender untersucht und noch um einige vermehrt worden. Auf Einzelheiten braucht hier nicht eingegangen zu werden.

An folgenden spektroskopischen Doppelsternen wurde ein δ Cephei-artiger oder verwandter Lichtwechsel, mit oder ohne sekundäre Wellen, festgestellt: ε und β Ursae majoris, α Canum venaticorum, γ Bootis, β Cephei; ferner an α Ursae majoris, bei dem kurzperiodische Veränderlichkeit der Radialgeschwindigkeit bisher noch nicht sicher festgestellt ist. Von diesen zeigen ε Ursae, γ Bootis und β Cephei schwache, α Canum sehr deutliche Spuren einer zweiten Komponente im Spektrum. Bei β und ε Ursae sowie bei α Canum ist ferner neben dem δ Cephei-Lichtwechsel anscheinend ein Bedeckungslichtwechsel vorhanden. Bei β Ursae ist uns der Bedeckungs-Charakter des zweiten Lichtwechsels aus hier nicht zu erörternden Gründen später wieder zweifelhaft geworden. Der Stern β Cephei weist in bezug auf seine Bahnelemente alle Eigentümlichkeiten der δ Cephei-Sterne auf. Einen vom einfachen δ Cephei-Fall abweichenden, verwickelteren Lichtwechsel, der aber auch mit der spektroskopischen Periode verläuft, zeigten die Sterne $\alpha_1$ Geminorum, $\zeta_1$ Ursae majoris, o und φ Persei. Die drei letzten haben deutlich zusammengesetzte Spektren; an ihrer Duplizität kann daher nicht gezweifelt werden. Statt einer einzigen Welle, die höchstens mit kleinen sekundären Wellen besetzt ist, wie beim gewöhnlichen δ Cephei-Fall, waren bei diesen Sternen deren mehrere von gleicher Ordnung auf den Umlauf verteilt: bei $\alpha_1$ Geminorum drei, bei ζ Ursae zwei, bei o und φ Persei bis zu sieben. Bei φ Persei fielen einmal an einer bestimmten Stelle der Lichtkurve einige Wellen aus; dies wiederholte sich nach einem spektroskopischen Umlauf des Systems. Man kann dies nicht wohl anders erklären als durch die *Annahme*, daß *der Lichtwechsel durch ungleiche Helligkeitsverteilung auf der Oberfläche der veränderlichen Komponente verursacht* wird, die in der gleichen Zeit sich um ihre Achse dreht, in der ein Umlauf im System vollendet wird.

Außer den genannten Sternen wurde noch eine Reihe anderer spektroskopischer Doppelsterne veränderlich gefunden, die aber meistens noch nicht näher untersucht sind; u. a. o Andromedae, ι Bootis, ζ Cephei, γ Orionis, η Ursae majoris; ferner von Sternen mit anormalem Spektrum, deren Duplizität a priori wahrscheinlich ist, γ Cygni und c Persei.

Das Ergebnis der Untersuchungen läßt sich dahin zusammenfassen, daß *die Doppelstern-Natur der δ Cephei-Sterne wieder in hohem Grade wahrscheinlich* geworden ist. Indem wir sowohl

die photometrischen wie die spektroskopischen Beobachtungsdaten in Betracht zogen, gelangten wir zu folgender Vorstellung von der Ursache ihres Lichtwechsels:

Unter dem gegenseitigen Einfluß der Komponenten des Systems bilden sich auf deren Oberflächen mehr oder weniger beständige Gebiete verschiedener Leuchtkraft, die in Verbindung mit der im Mittel in der Umlaufszeit sich vollziehenden Rotation den Lichtwechsel verursachen[1]). Die ungleichförmige Helligkeitsverteilung ist wahrscheinlich auf meteorologische Vorgänge zurückzuführen: über den helleren Gebieten ist die Atmosphäre des Sternes durchlässiger als über den dunkleren Gebieten. Infolge ungleicher Rotationsgeschwindigkeit der verschiedenen Schichten und Zonen der Atmosphäre haben die hellen Gebiete, die als die eigentlichen Störungsgebiete zu betrachten sind, die Neigung, nach der der Rotationsrichtung entgegengesetzten Seite abzufließen, ähnlich wie es an den größeren Flecken des Jupiters direkt beobachtet wird. Es entsteht dadurch eine Helligkeitsverteilung mit einem in der Richtung der Rotation sehr starken, in der entgegengesetzten Richtung dagegen kleineren Gradienten. Dies verursacht die gewöhnlich vorhandene *Asymmetrie der Lichtkurven*. Die beobachteten *periodischen Veränderungen* des *Spektrums* der δ Cephei-Sterne stehen mit der Vorstellung im Einklang. Da das Licht der helleren Gebiete aus tieferen und heißeren Schichten der Atmosphäre stammt als das Licht der dunkleren Gebiete, so muß, wie es tatsächlich der Fall ist, der Spektraltypus des Sterns im Helligkeitsmaximum ein früherer sein als im Helligkeitsminimum. Ob die Schwankungen der Spektrallinien *nur* von der Bahnbewegung herrühren, ist unter diesen Umständen höchst zweifelhaft, und es liegen auch manche Anzeichen des Gegenteils vor. Es ist daher vorderhand nicht statthaft, aus ihnen Schlüsse mechanischer Natur zu ziehen, wenn das Vorhandensein eines starken Lichtwechsels die Gefahr erheblicher Beeinflussung der Linienverschiebungen durch andere Effekte als den von der Bewegung in der Bahn herrührenden Dopplereffekt naherückt. Es scheint z. B. nicht ausgeschlossen, daß die starken Exzentrizitäten der δ Cephei-Bahnen wenigstens zum Teil von solchen Effekten herrühren und in Wirklichkeit viel kleiner sind als die beobachteten Linienverschiebungen sie ergeben[2]).

Der Umstand, daß mit sehr kleinem Wert der Massenfunktion in der Regel — jedoch nicht immer — Helligkeitsschwankungen nach δ Cephei-Art von beträchtlichem Umfang verbunden sind, dagegen mit normalem oder großem Wert der Funktion nur geringe Helligkeitsschwankungen dieser Art, scheint anzudeuten, daß die große Masse des Begleiters dem Zustandekommen eines δ Cephei-Lichtwechsels nicht günstig ist. Von einem meteorologischen Standpunkt aus kann dies nicht als unplausibel angesehen werden.

*Eine Stütze erfährt die skizzierte Vorstellung* in gewisser Beziehung durch das Ergebnis lichtelektrischer Messungen an dem Planeten Mars, dessen Oberfläche bekanntlich mit konstanten und veränderlichen Flecken und mit einer nicht unmerklichen Atmosphäre bedeckt ist; ferner durch das photometrische Verhalten der Satelliten des Jupiter und Saturn, insbesondere des Japetus, das offenbar unter dem Einfluß des nahen großen Planeten steht. Japetus zeigt eine starke, mit der Periode seines Umlaufs um Saturn verlaufende, sehr beständige Helligkeitsschwankung, die nach Charakter und Orientierung zur Bahnbewegung dem δ Cephei-Fall sehr ähnlich ist. Auch in diesen Systemen scheint allzu starke Einwirkung dem Zustandekommen eines stabilen,

[1]) Man beachte bezüglich der aus der Annahme der Gleichheit von Rotations- und Umlaufszeit sich ergebenden eigentümlichen Verhältnisse die Fußnote auf Seite 713 (2. Spalte).

[2]) Eine systematische Verfälschung der Radialgeschwindigkeitsbestimmungen, die bei den δ Cephei-Sternen und Verwandten ziemlich sicher vorhanden ist, besteht in folgendem. Die zu den Bestimmungen benutzten Sternlinien sind wohl in den seltensten Fällen einfache Linien; sie werden vielmehr meistens aus mehreren, nahe zusammenstehenden Linien verschiedener Herkunft zusammengesetzt sein, die infolge der verhältnismäßig geringen anwendbaren Dispersion nicht getrennt werden. Um die für die Ableitung der Radialgeschwindigkeit notwendigen Wellenlängen der Sternlinien zu erhalten, muß man mit Hilfe des Rowlandschen Sonnenspektrums zunächst ermitteln, aus welchen Komponenten wohl die betreffenden Sternlinien zusammengesetzt sein werden. Das Gewichtsmittel der Wellenlängen dieser Komponenten (Gewichte nach Maßgabe der relativen Intensitäten der Komponenten im Sonnenspektrum, wenn ein anderweitiger Anhalt fehlt) wird dann als Wellenlänge der Sternlinie angenommen. Wenigstens ist dies prinzipiell das von den Beobachtern eingeschlagene Verfahren. Es ändert qualitativ für die folgende Betrachtung nichts, wenn man etwa die Wellenlänge einer einzigen Sonnenlinie in der betreffenden Gruppe zugrunde legen wollte, oder Wellenlängen, die im Laboratorium bestimmt sind. Da nun die relativen Intensitäten der Komponenten mit dem Spektraltypus zum Teil sehr stark variieren, so dürfte dieses Verfahren strenge genommen nur auf Sterne vom Spektraltypus der Sonne (G) angewandt werden. Für alle anderen Spektralklassen müssen sich merkliche systematische Fehler aus ihm ergeben. In der Tat ist ein mit zunehmender Verschiedenheit der Sternspektren vom Sonnenspektrum wachsender systematischer Fehler der Radialgeschwindigkeiten, der auf die beschriebene Ursache zurückgeführt wird, nämlich der Campbellsche K-Effekt, seit längerer Zeit bekannt. Er beträgt am Anfang der Spektralreihe rund 5 km, beim Sonnentypus ist er, wie zu erwarten, nahezu Null. Da der Spektraltypus der δ Cephei-Sterne zwischen Minimum und Maximum der Helligkeit sich sehr beträchtlich ändert — bei δ Cephei z. B. um den nicht ungewöhnlichen Betrag von mehr als einer Klasse —, so sind bei ihnen periodisch veränderliche Einflüsse auf die Radialgeschwindigkeitsbestimmungen zu erwarten, die leicht 2—3 km erreichen können. Solche Beträge sind aber durchaus imstande, die Exzentrizität und die Lage der großen Achse der Bahnellipse ganz erheblich zu verfälschen, da die Schwankungen der Radialgeschwindigkeit bei den δ Cephei-Sternen verhältnismäßig gering sind. Der Durchschnitt der Amplituden von 10 genauer untersuchten Fällen beträgt nur 15 km.

regelmäßigen Lichtwechsels nicht günstig zu sein, da die äußersten Satelliten den beständigsten Lichtwechsel, die inneren dagegen sehr veränderliche Lichtkurven haben.

*Gegen die Fleckenhypothese* kann ein Einwurf gemacht werden, der auf den ersten Blick sehr schwerwiegend erscheint. Die Zunahme der Helligkeit vom Minimum zum Maximum verläuft in einigen extremen Fällen des δ Cephei-Typus (bei einigen Antalgolsternen) so steil, daß es kaum möglich erscheinen möchte, sie durch die Annahme einer rotierenden Kugel mit einer physikalisch plausibeln ungleichförmigen Helligkeitsverteilung darzustellen. Die Frage hat *Russell*[1]) mit besonderer Rücksicht auf die Helligkeitsschwankungen der kleinen Planeten und der Satelliten analytisch behandelt. Quantitative Schlüsse sind jedoch von ihm nicht gezogen worden. Ich habe daher vor kurzem die Frage empirisch an einem Modell mittels lichtelektrischer Messungen untersucht und gefunden, daß alle bisher beobachteten, gut begründeten *mittleren* Lichtkurven von δ Cephei- und verwandter Art durch konstante helle Flecken auf einer rotierenden Kugel reproduziert werden können, wenn man entsprechend der Wirkung einer absorbierenden Atmosphäre die künstliche Beleuchtung der Kugel nach dem Rande abnehmen läßt[2]). Näheres hierüber wird in den Astronomischen Nachrichten mitgeteilt werden.

Außer dem δ Cephei-Problem behandelt die Veröffentlichung noch die Lichtschwankungen des Planeten Mars, deren Periode die Rotationszeit des Planeten ist, ferner die Helligkeit der Planeten Jupiter und Saturn, die zur Prüfung der Sonnenhelligkeit gedient haben[3]), und einige andere Fragen. Der Beobachtungsapparat, das Meßverfahren und die Auswertung der Messungen sind im ersten Abschnitt der Veröffentlichung ausführlich erörtert.

---

## Probleme der Glasforschung II.

*Von Dr. E. Zschimmer, Jena.*

*Normale Gläser für wissenschaftliche und technische Zwecke.*

Normale Gläser setzen normale Ansprüche an ihre Beschaffenheit voraus. Wer ein für seine Zwecke möglichst geeignetes Glas wünscht, muß möglichst bestimmt angeben, welche Mindestleistung das Glas erfüllen soll; dazu gehört physikalische Chemie. Mit der genauen Erforschung der Vorgänge beim Gebrauch der Gläser und daraus folgenden exakten Bestimmung der normalen Ansprüche beginnt die neuere Glasschmelzkunst, deren Wurzeln auf die Versuche des genialen Optikers *Fraunhofer* zurückreichen.

*Fraunhofers* Technik, große Fernrohrlinsen herzustellen, wanderte nach Frankreich aus, eine Pariser Glashütte übernahm das Erbe deutscher Wissenschaft. Sein Gedanke, dem Glase neue, für die gesteigerte Wirkung der optischen Instrumente berechnete Eigenschaften zu erteilen, wurde 1834 von dem englischen Pfarrer *Harcourt* mit bewundernswerter Zähigkeit weiter verfolgt. Aber trotz der Mitwirkung des Physikers *Stokes*, mit dem sich *Harcourt* 1862 befreundete, blieben die interessanten Schmelzversuche ohne technischen Erfolg; sie fanden in englischen Zeitschriften ein ehrenvolles Begräbnis. Wie im kleinen, so im großen: auch die Hüttentechniker brachten in früherer Zeit hier und dort eine neue, eigenartig zusammengesetzte Schmelze hervor. *Maës* in Clichy zeigte 1851 ein Glas von der merkwürdigen Zusammensetzung 56 % $SiO_2$, 7 % $B_2O_3$, 17 % $K_2O$, 2 % CaO, 14 % ZnO, 4 % PbO auf der Londoner Gewerbeausstellung, aus dem er Gefäße und Platten zur Anfertigung optischer Linsen herstellte. Doch den Hüttenversuchen war nur ein papiernes Fortleben in den Lehrbüchern der Glasindustrie beschieden[1]). Ihre Urheber schossen ins Blaue, da ihren Versuchen das *wissenschaftlich begründete* technische Ziel fehlte.

Wohl ist es möglich, daß jemand einmal einen guten Zufallstreffer macht, wenn er aus ungewöhnlichen Stoffen ein „schönes Glas" zusammengeschmolzen hat, aber ein solcher Erfolg ist doch sehr unwahrscheinlich. Auch *Schott* hatte das erfahren müssen, als er sein erstes Lithiumglas an *Abbe* schickte, der ihm nur mitteilen konnte, daß es für die Optik wertloser war als die bekannten Krongläser. Technischen *Sinn*, d. h. den Sinn einer neuen Erfindung, können Schmelzversuche erst haben, wenn der Erfinder ein klar bestimmtes Ziel im Auge hat; man kann sagen, daß der Inbegriff aller neuen Ziele der Glasschmelzkunst in dem Gedanken eingeschlossen liegt: *Spezialgläser für wissenschaftliche und technische Zwecke* zu schaffen. Ein deutscher Gelehrter, der Direktor der Sternwarte und Kaiserlichen Normal-Eichungs-Kommission, *Wilhelm Förster*, erkannte, wie wichtig es sei, den Zusammenhang zwischen den physikalischen Eigenschaften und der chemischen Zusammensetzung des Glases streng wissenschaftlich zu erforschen. In einer Denkschrift vom Dezember 1880 verlangte er die Gründung eines staatlichen Laboratoriums, in welchem optische Gläser und — was hier besonders interes-

[1]) Astrophys. Journal *24*, 1.

[2]) Da nach der skizzierten Vorstellung die photometrisch wirksamsten Schichten der hellen Gebiete tiefer liegen müssen als die der dunklen, so kommt neben der nach dem Rande der mittleren Sternhemisphäre wachsenden Absorption der Atmosphäre noch ein weiterer Einfluß in Betracht, der von der Projektion der höher gelegenen photometrisch wirksamsten Schichten der Umgebung eines hellen Gebietes auf dieses herrührt. Hierdurch muß ebenso wie durch die Absorption die Lichtkurve steiler werden. Die bei einigen Antalgolsternen beobachteten sehr schnellen Veränderungen der Lichtkurve, die auf sehr schnelle Änderungen der Helligkeitsverteilung hinweisen, können auf die obige Weise natürlich nicht dargestellt werden.

[3]) Naturwissenschaften *6*, 133, 1918.

[1]) *Benrath:* Die Glasfabrikation. Vieweg, Braunschweig 1875.

siert — ein Normalglas für Quecksilberthermometer zu wissenschaftlichen Zwecken gefunden werden sollten. Inzwischen aber hatten *Abbe* und *Schott* in Jena schon Gläser mit neuen optischen Eigenschaften fertig gebracht; die Anregung *Försters* fiel auf fruchtbaren Boden. Der preußische Staat unterstützte das Unternehmen der beiden Erfinder, die 1884 das Jenaer Glaswerk in Betrieb setzten[1]). Dessen Aufgabe ist bis heute die Schaffung neuer Glasarten für besondere Anwendungsgebiete der Wissenschaft und Technik geblieben.

Das bekannte „Jenaer Normalglas 16$^{III}$ für Thermometer" war *der erste praktische Erfolg*. Es bedeutet deshalb einen unverrückbaren Markstein in der Geschichte der Glasindustrie, weil es das erste *lebensfähige* Kind der technischen Naturforschung auf diesem Gebiete gewesen ist, eine Frucht des grundsätzlich neuen Verfahrens: durch exakte Erforschung der Vorgänge beim Gebrauch die Mindestansprüche an ein besonders geeignetes Glas zu finden, um die Schmelzkunst anzuregen, ein solches Glas hervorzubringen. Die früher erwähnten[2]) „technischen Leistungskonstanten" sind es vornehmlich, in denen die Ansprüche zum Ausdruck kommen; beim Jenaer Normalglas war die *Verminderung der Depressionskonstante des Thermometers* das Ziel der Versuche.

Alle Gläser zeigen in mehr oder weniger starkem Maße sowohl mechanische als auch thermische Nachwirkungen. Ändert man gewaltsam ihre Form, so kehrt das Glas nach Entfernung des Zuges oder Druckes, der die Formänderung hervorbrachte, nicht sofort in den Ausgangszustand zurück, es bleibt ein Rest der Formänderung bestehen, der erst nach längerer Zeit verschwindet. Verwickelt werden die Verhältnisse beim Glase, wenn die Änderung der Form durch Temperaturwechsel hervorgebracht wird, besonders deshalb, weil das Glas unter dem Einfluß der Temperatur aus dem starr-elastischen in den dünnflüssigen Zustand stetig übergeht. Ein erweichtes Glasstück behält beim Erkalten Spannungen, also Formänderungen im Sinne einer inhomogenen Verteilung der Dichte, die sich erst nach Jahren zum Teil selbsttätig ausgleichen, zum Teil erst durch das sogenannte Nachkühlen oder künstliche Altern des gespannten Glasstücks verschwinden. Beim Thermometer überlagern sich nun diese von der Arbeit des Glasbläsers herrührenden *„versteinerten Spannungen"* (*Schott*) und die im Gebrauch des Thermometers auftretenden *vorübergehenden Spannungen*; beide gleichen sich mit der Zeit aus. Da aber ein Thermometer häufig erwärmt und abgekühlt wird, so zeigt es, genau genommen, immer falsch, denn man weiß nie, in welchem Zustande der Formänderung das Quecksilbergefäß gegenüber dem ursprünglichen Zustande bei der Eichung sich augenblicklich befindet. Jahrzehnte hindurch haben die Physiker das merkwürdige Verhalten der Glasthermometer sorgfältig beobachtet, wobei hauptsächlich folgende Arten der thermischen Nachwirkung zu unterscheiden sind:

1. Erhitzt man ein Thermometer auf mäßig hohe Temperatur (z. B. 100°) und läßt es ziemlich rasch erkalten (etwa aus dem siedenden Wasser in die Luft bringt), dann bleibt das Quecksilbergefäß erweitert gegenüber seinem früheren Volumen bei niedriger Temperatur. Die Standhöhe des Quecksilbers fällt also unter den vorher im Eisbade angebrachten Nullstrich: der Eispunkt senkt sich. Man nennt diese Erscheinung die „Depression des Eispunkts". — Die Depression wächst mit zunehmendem Alter des Thermometers, anfangs schneller, dann langsamer, bis zu einem hinreichend konstanten Werte. Der erreichte maximale Wert der Senkung des Eispunktes nach vorübergehender Erwärmung auf 100° und schnellem Erkalten heißt die „Depressionskonstante" des Thermometers. Unter gleichen Umständen ist diese zugleich eine charakteristische Konstante der betreffenden Glasart.

2. Wenn man ein neu angefertigtes Thermometer ruhen läßt, es also nur den Schwankungen der Lufttemperatur aussetzt, so zieht sich das als Quecksilberbehälter dienende Glasgefäß fortgesetzt ein wenig zusammen. Infolgedessen hebt sich die einer bestimmten Temperatur entsprechende Standhöhe des Quecksilbers mit dem Alter. Man kann den Verlauf der Erscheinung verfolgen, indem man von Zeit zu Zeit die Lage des Nullpunktes im Eisbade beobachtet. Es zeigt sich dann eine langsame Erhebung des Eispunktes, die mit zunehmendem Alter des Thermometers immer schwächer wird. Man nennt sie den „säkularen Anstieg des Eispunkts".

3. Längeres Erhitzen auf höherer, jedoch nicht zu hoher Temperatur (unterhalb 250°) und darauffolgende möglichst langsame Abkühlung steigert den säkularen Anstieg und zugleich die Depression. Diese Art der Behandlung nennt man „künstliches Altern".

4. Durch Erhitzen auf Temperaturen über etwa 250° und darauffolgende Abkühlung (ohne besondere Vorsichtsmaßregeln) wird ebenfalls der säkulare Anstieg beschleunigt, hingegen die Depression vermindert. Letztere wächst dann wieder mit dem Alter des so behandelten Thermometers.

Angesichts dieser Tatsachen mußten die Messungen mit Quecksilber-Thermometern in sehr bedenklichem Lichte erscheinen. Man kam zu dem merkwürdigen Ergebnis, daß man ohne Wissen von der „Lebensgeschichte" des Thermometers überhaupt keine zuverlässigen Ablesungen der

[1]) Die naheliegende Frage, warum der preußische Staat nicht zur Bedingung gemacht hatte, das Werk auf preußischem Gebiet zu errichten, beantwortet sich sehr einfach: *Abbe* und *Schott* wollten in Jena bleiben; sie aber waren diejenigen, die bereits zur *Wirklichkeit* gemacht hatten, was man in Berlin damals erst *beabsichtigte*.

[2]) „Naturwissenschaften" S. 514, Heft 35 (1918).

Temperatur machen kann; aber selbst, wenn der Beobachter über die Geschichte seines Thermometers genau Buch führt, bleiben unberechenbare Fehler in der Ablesung bestehen.

Glücklicherweise ist die thermische Nachwirkung, im besonderen die Depression des Eispunktes, keine feststehende Eigenschaft des Glases. *R. Weber*[1]) beobachtete zuerst einen auffälligen Unterschied der Depressionskonstante an zwei verschieden zusammengesetzten Gläsern:

| $SiO_2$ | $Na_2O$ | $K_2O$ | $CaO$ | $Al_2O_3$ | Depressionskonstante |
|---|---|---|---|---|---|
| 68,30 | 12,08 | 8,27 | 10,41 | 1,28 | 0,48 |
| 65,00 | 0,07 | 19,51 | 13,58 | 2,04 | 0,11 |

*Weber* schloß daraus, „daß die Zusammensetzung der Gläser einen maßgebenden Einfluß auf die Depressionserscheinung ausübt. Als ungünstig sind die sehr leichtflüssigen Alkalikalkgläser zu bezeichnen, welche ihrer bequemeren Handhabung wegen vielfach Anwendung finden. Ein günstiges Resultat ergaben *reine Kaligläser* mit reichlichem Gehalt an Kieselsäure und Kalk.“ Er ließ zwei Schmelzen nach der Zusammensetzung des von ihm untersuchten *reinen Kaliglases* herstellen und fand, daß die daraus angefertigten Thermometer übereinstimmend eine Depressionskonstante von 0,09° entsprechend der oberen Messung zeigten — gegenüber dem *Natronkaliglas* ein erheblich geringerer Wert, aber für physikalische Messungen noch bedenklich hoch. Eine dankbare Aufgabe für die Glasschmelzkunst war jetzt gegeben: ein Thermometerglas, dessen Depression soweit vermindert ist, daß es für alle feineren thermometrischen Zwecke genügt.

*Schott* löste diese Aufgabe in gemeinsamer Arbeit mit dem Physiker *H. F. Wiebe*, der das Verhalten zahlreicher Versuchsthermometer aus neuen Gläsern bei der Normaleichungskommission sorgfältig beobachtete. Es darf nicht unbeachtet bleiben, daß die von *Schott* dargestellten Gläser viel mehr der glücklichen Phantasie des Erfinders, als weitläufigen systematischen Versuchen über die Abhängigkeit der Depressionskonstante von der chemischen Zusammensetzung des Glases entstammen. Man braucht sich nur vorzustellen, was es bedeutet, „die Depressionskonstante eines neuen Glases zu ermitteln“, um einzusehen, daß es ein uferloses Beginnen gewesen wäre, auf dem Wege systematischer Forschungen die neuen Gläser zu „finden“: Jede Depressionskonstante erfordert mehrere *fertige Thermometer*, die zur Beobachtung dienen; um ein Thermometer zu machen, braucht man geeignete Röhren, und hierzu die genügende Schmelzmenge, um solche Röhren ziehen zu können; endlich: die Prüfung der Thermometer selbst erstreckt sich auf Wochen und Monate!

[1]) Ber. d. Berliner Akademie, 13. Dez. 1883.

Um die Mitte der achtziger Jahre konnte das schon genannte „Jenaer Normalglas 16 III“ zu Herstellung amtlich geprüfter Fieberthermometer eingeführt werden, da es durch seine Zusammensetzung eine mittlere Depression von nur fünfhundertstel Grad verbürgt[1]). Bald folgte das höherwertige „Borosilikat-Thermometerglas 59 III“ mit 3,5 und später ein „alkalifreies Thermometerglas 477 III“ mit *der kleinsten bisher überhaupt erreichten Depressionskonstante* von 1,4hundertstel Grad. Spätere Versuche ergaben, daß das Borosilikat-Thermometerglas „allen feineren thermometrischen Zwecken genügt“; es zeichnet sich außerdem durch einen niedrigen kubischen Ausdehnungskoeffizienten $3\,\alpha = 0{,}0000171$ vor den bis dahin gebräuchlichen Thermometern mit hoher thermischer Ausdehnung vorteilhaft aus.

Um den erreichten Fortschritt zu beurteilen, beachte man die von *Wiebe*[2]) aufgezeichnete interessante *Lebensgeschichte eines Thermometers aus Thüringer Glas*, aus der ich nur den Anfang und den Schluß anführe: Nachdem das Thermometer mehrere Monate in Ruhe lag, zeigte es im Jahre 1881 den Eispunkt + 0,21 und nach halbstündigem Erhitzen auf Siedetemperatur eine Depression von 65hundertstel Grad. Bis zum Jahre 1888 war der Eispunkt auf 7,07 (!) gestiegen, die Depression betrug, unter gleichen Umständen, 42hundertstel Grad, während sie in den zwischenliegenden Jahren 56, 60, 61 und 66hundertstel Grad ausmachte. Ein solches Thermometer gehört nicht zu den wissenschaftlichen Meßinstrumenten.

Wie aber die Depression des Eispunkts mit all den übrigen merkwürdigen Erscheinungen in der „Lebensgeschichte“ eines Thermometers zu *erklären* ist, wissen wir bis heute noch nicht; daher sollten sich die Naturforscher mit den Tücken eines ihrer wichtigsten Meßinstrumente auch weiterhin beschäftigen. Die oben gegebene Übersicht von Arten der thermischen Nachwirkung erschöpft die unaufgeklärte Mannigfaltigkeit der Vorgänge keineswegs; der Raum verbietet, auf die umfangreiche Literatur näher einzugehen. Die Depressionskonstante bleibt vorläufig eine technische Konstante, die *rein erfahrungsmäßig* aus der unmittelbaren Beobachtung des fertigen Gerätes im Gebrauch bestimmt wird. Dabei kann sich das physikalisch-chemische Gewissen auf die Dauer nicht beruhigen. Denn offenbar muß diese Größe eine *Funktion der physikalischen Konstanten des Glases* sein, und es müßte ermittelt werden, *welche* es sind. Bis dahin bleibt der theoretische Zusammenhang der großen Zahl exaktester Messungen, die sich in Jahrzehnten angesammelt haben, im Dunkeln.

Dem Physiker mag es sonderbar scheinen, daß man von den Gläsern 16 III und 59 III nicht das thermisch bessere (59 III) zum „Normalglas für

[1]) Als Schutzmarke trägt das Normalglas einen *einfachen*, rötlich violetten Längsstreifen. (Gläser mit *doppeltem* Streifen sind nicht Jenaer Glas.)

[2]) Zeitschr. f. Instrumentenkunde 6, 167 (1886).

Thermometer" wählte; natürlich hatte man dafür praktische Gründe. Das Normalglas 16 III wurde zuerst erfunden und eignete sich vorzüglich zur Anfertigung der *ärztlichen Fieberthermometer*. Der Mindestanspruch einer Depression von nicht mehr als 5hundertstel Grad genügt, um Zehntelgrade der Fiebertemperatur richtig zu messen. Außerdem war dieses Glas den Thermometermachern auf dem Thüringer Wald angenehm, weil es sich leicht vor der Lampe verarbeiten läßt. So kam der Name „Normalglas für Thermometer" als amtliche Bezeichnung nur dem *Fieberthermometer* zugute.

In neuester Zeit beginnt nun der allgemeinere Gedanke des *„Normalwerkstoffs"* sich durchzusetzen. Der „Normenausschuß der deutschen Industrie", ursprünglich für den Maschinenbau bestimmt, beabsichtigt, *alle* Werkstoffe in den Kreis der „deutschen Industrie-Normen" einzuschließen[1]), hierbei dürfen die *Gläser* nicht fehlen. Es würde ebenso folgerichtig wie auch dem praktischen Bedürfnis und der Bedeutung der deutschen Glasindustrie im Welthandel entsprechend sein, wenn die Jahrzehnte lang fortgeführten exakten Untersuchungen der Normaleichungskommission und Physikalisch-Technischen Reichsanstalt dazu führen sollten, dem bekannten Normalglas für *ärztliche* Thermometer noch ein zweites für die *physikalisch-chemischen Thermometer* hinzuzufügen. Praktischen Wert für den Naturforscher kann die Aufstellung dieser höheren Klasse von Thermometergläsern nur dann besitzen, wenn die neue Glasbezeichnung durch *Prüfungsämter* eingeführt wird und das Glas der amtlich gestempelten Thermometer die gestellten Mindestansprüche in bezug auf seine thermischen Eigenschaften *verbürgt*. Da der Physiker und Chemiker beträchtlich höhere Temperaturen ablesen muß als der Arzt, so treten bei einem Normalglas für *physikalisch-chemische* Thermometer außer der kleinen Depression noch andere Ansprüche hinzu; ich erinnere nur an den „säkularen Anstieg des Eispunktes" und den niedrigen Ausdehnungskoeffizienten. Es kommen aber neue Anforderungen aus dem Laboratorium in Betracht — Probleme der Glasforschung!

Auf Thermometer kann nun der Begriff des Normalglases in Zukunft nicht beschränkt sein; haben doch andere Gebiete der Wissenschaft und Technik dasselbe Recht, für ihre besonderen Zwecke zuverlässige Normalgläser zu verlangen, die der *amtlichen Prüfung* unterstehen. Dieses Ziel hat die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Verbindung mit dem Jenaer Glaswerk längst verfolgt; die „Normen" sind da, nur fehlte das gemeinsame Wort, um den gleichen Grundgedanken zum Vorschein zu bringen. Was die Reichsanstalt, begründet auf physikalisch-chemische Forschungen von *Förster, Kohlrausch, Mylius, Warburg* u. a., unter der *Haltbarkeitsklasse* chemischer Gerätegläser und optischer Gläser und der *thermischen Klasse* der Beleuchtungsgläser versteht, ist nichts anderes als der allgemeine Begriff des Normalglases für wissenschaftliche und technische Zwecke. Bei den von der Reichsanstalt aufgestellten „Klassen" tritt die *Mannigfaltigkeit* der Ansprüche für die vorhandenen Bedürfnisse in den Vordergrund, wogegen mit dem Ausdruck „Normalglas für Thermometer", der seiner Zeit von der Normaleichungskommission gebraucht wurde, die *Einheitlichkeit* der Glasart für einen bestimmt begrenzten Zweck unterstrichen werden sollte.

Offenbar sind die Gesichtspunkte der Mannigfaltigkeit und Einheitlichkeit mit dem allgemeinen Begriff des „Normalglases" wie des „Normalwerkstoffs" überhaupt untrennbar *verbunden*. Wenn neuerdings bei der „Normalisierung" der deutschen Werkstoffe durch den Normenausschuß der *wirtschaftliche* Vorteil durch Vereinheitlichung der übergroßen Zahl von Spielarten stark betont wird, so darf man nicht vergessen, daß der Reichtum der technischen Möglichkeiten, der in der *Mannigfaltigkeit* der Werkstoffe zum Ausdruck kommt, durch die Bezeichnung *„normal"* mit gedeckt werden soll. Um die von der amtlichen Prüfung bestätigten Gläser treffend zu bezeichnen, müßte man daher in Zukunft sagen: „Normalglas für Thermometer, Klasse n", „Normalglas für chemische Geräte, Klasse n'" usw. Da solche Bezeichnung aber bloß *einen* bestimmten Mindestanspruch an das Glas betrifft, so könnte es zweckdienlicher sein, zur „Klasse" ein Kennwort hinzuzufügen, z. B.: „Normalglas für chemische Geräte, *chemische* Klasse 1, *thermische* Klasse 2" usw. Denn im tatsächlichen Gebrauch stellt man meistens mehrere Ansprüche zugleich, die das Glas erfüllen soll.

Frühzeitig — wohl zuerst — hat man die chemische Widerstandsfähigkeit der Gläser beachtet und *Grenzen der Haltbarkeit* aufzustellen versucht. Wie schon beim Glasbegriff gezeigt wurde[1]), bewegten sich die Bemühungen, technische Normalgläser festzulegen, bis zum Jahre 1884 auf falscher Bahn.

Der Gedanke, eine chemische Formel für „das" normale Glas zu finden, verlor den Sinn, als *Schott* der alten Glaswissenschaft seine gänzlich „unnormalen" Gläser vorhielt, die in den wertvollsten technischen Eigenschaften das formelgerecht geschmolzene Kalk- und Bleiglas *übertrafen*. Hiermit setzten die Untersuchungen der obengenannten Forscher bei der Reichsanstalt ein. Sie hatten zum Ziele: die physikalisch-chemische Aufklärung der Vorgänge, die sich beim Gebrauch eines Glasgegenstandes in Berührung mit flüssigem und dampfförmigem Wasser unter verschiedenen Bedingungen abspielen. Die außerordentlich umfangreiche Literatur über diesen Gegenstand bezeugt, daß wir uns hier in einem der interessantesten Kapitel der Glasforschung be-

[1]) Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure 1917, Seite 985 (als Sonderdruck erschienen).

[1]) Die „Naturwissenschaften" 6, S. 509 (1918).

finden, dessen *Mittelpunkt der Begriff der Hydrolyse des Glases* ist. „Der wesentlichste Feind der Gläser ist das Wasser" — mit dieser Bemerkung hat *G. Keppeler*[1]) das Verhältnis zwischen diesen beiden Stoffen sehr treffend bezeichnet. Man könnte hinzufügen, daß ihr feindliches Verhalten wechselseitig besteht. Da auch das Glas ein Feind des reinen Wassers ist, so war es von großer Bedeutung für die Chemie, den schädlichen Einfluß wenigstens auf praktisch unschädliche Reste herabzudrücken. Indem wir die Mitwirkung anderer Stoffe (wie z. B. Kohlensäure, Basen, Salze) vorläufig ausschließen — obwohl sie im praktischen Fall fast immer teilnehmen —, unterscheiden wir bei der reinen Wirkung des Wassers, ob die Berührung mit Dampf oder mit flüssigem Wasser stattfindet. Diese beiden Formen der Hydrolyse liegen den in Wirklichkeit gegebenen, etwas verwickelten Arten der Beanspruchung der Gläser zugrunde, nämlich: die sogenannte „Verwitterung" an der Luft und die „Auflösung" in wässerigen Lösungen aller Art.

Durch die zahlreichen Arbeiten über die Veränderung der Gläser in Berührung mit Wasser ist erwiesen, daß in weitaus den meisten Fällen kein rein physikalischer Vorgang (wie anfangs geglaubt wurde), sondern eine chemische Zerlegung, nämlich *hydrolytische Dissoziation* oder kurz, Hydrolyse stattfindet. Die Gläser verhalten sich zum Wasser ganz ähnlich wie viele andere salzartige Stoffe oder Mischungen. Darauf hat zuerst *F. Mylius* hingewiesen. „Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß das Wasser auch auf manche andere technisch wichtigen Produkte eine ähnlich zersetzende Wirkung ausübt, insbesondere auf die Seife (fettsaures Kali oder Natron), welche ebenfalls in einen löslichen alkalischen und in einen ungelösten sauren Teil gespalten wird . . . Der sich hier aufdrängende Vergleich von Glas und Seife mag auf den ersten Blick gesucht erscheinen; er ist aber insofern begründet, als das Wasserglas in der Seifenindustrie als Ersatz der Fettseife eine bedeutende, immer steigende Verwendung findet."

[1]) Bei *R. Dralle:* Die Glasfabrikation, München 1911.

Klasseneinteilung geführt haben. Zugrunde gelegt wird der Prüfung die mittels Jodeosin bestimmte, an das Wasser abgegebene Alkalimenge (als $Na_2O$ berechnet) für den Quadratmeter Oberfläche, und zwar:

a) nach dreitägiger Berührung des Gefäßes mit Wasser von 18°,
b) nach darauffolgender einstündiger Berührung desselben Gefäßes mit Wasser von 80°.

*Mylius*[1]) gibt hiernach folgende, später noch etwas veränderte und in Eosinwerten festgelegte Einteilung (s. w. u.) der Gebrauchsgläser:

| Klasse | Milligramm $Na_2O$ pro qm, nach dreitägiger Vorbehandlung an das Wasser abgegeben | | |
|---|---|---|---|
| | a) 1 Woche in Wasser von 18° | b) 3 Std. in Wasser von 80° | |
| Quarzglas . . . . . | 0 | 0 | Quarzglas |
| Wasserbeständige Gläser . . . . . | 0 – 0,4 | 0 — 1,5 | Jenaer Borosilikat - Thermometerglas, 59 III (und neues Geräteglas 1910) |
| Resistente Gläser . | 0,4 — 1,2 | 1,5 — 4,5 | Staassches Glas für Atomgewichtsbestimmungen |
| Härtere Apparatengläser . . . . . | 1,2 — 3,6 | 4,5 — 15 | Jenaer Normalglas 16 III für Thermometer |
| Weichere Apparatengläser . . . . | 3,6 — 15 | 15 — 60 | Bleikristallglas |
| Mangelhafte Gläser | über 15 | über 60 | |

Die erhaltenen Zahlen schwankten für chemische Gerätegläser verschiedener Herkunft, ausgedrückt in äquivalenten Mengen $Na_2O$:

a) zwischen 0,10 und 1,3 mg Natron pro qm,
b) „ 0,67 „ 20,3 „ „ „ „ .

*Alkaliabgabe in mg pro 1 m² Oberfläche.*

| | Böhmisches Kaliglas von *Karalier* | Früheres Jenaer Geräteglas | | Jenaer Geräteglas 1910 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ungekühlt | gekühlt | ungekühlt | gekühlt |
| In Wasser von 20°, achttägige Berührung . | 1.38 | 0,43 | 0,30 | 0,32 | 0,10 |
| Ebenso, dann noch 3 Stunden in Berührung mit Wasser von 80° . . . . . | 5,60 | 1,82 | 0,43 — 0,6 | 1.55 | kaum merklich sauer |

Für chemische Geräte kommt in erster Hinsicht das *Verhalten der Glasoberfläche gegenüber dem Wasser bei verschiedener Temperatur* in Betracht. Auf diese Beanspruchung beziehen sich die von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt vorgenommenen Prüfungen der Gerätegläser, die zu einer von *Mylius* vorgeschlagenen

Ein auffallender Unterschied ergibt sich je nach der Behandlung der Gefäße in den Hütten, und zwar beim Kühlprozeß. Nach *O. Schott*[2]) übt die in den Verbrennungsgasen enthaltene schweflige Säure einen merklichen Einfluß aus auf die Beschaffenheit der Oberfläche. Es bilden

[1]) Deutsche Mechaniker-Zeitung *1* (1908).
[2]) Verzeichnisse des Jenaer Glaswerks Nr. 388 (1905); Nr. 986 (1910).

sich anscheinend schwefelsaure Salze der Alkalien, und so wird die gekühlte Oberfläche stärker ausgelaugt durch das Spülwasser als es ohne diese Reaktion geschieht. Nach der Prüfung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt verhält sich die Alkaliabgabe der besten im Handel befindlichen Geräteglaser in mg pro m² Oberfläche (Berührungszeit bei diesen Messungen nicht 3, sondern 8 Tage), so wie es die Tabelle auf S. 721 (unten) zeigt.

Später hat *Mylius*[1]) eine nach Eosinwerten getroffene hydrolytische *Klasseneinteilung der Gläser* (Tabelle auf S. 722) vorgeschlagen, die die Reichsanstalt den Prüfungsscheinen zugrunde legt. Es bedeutet in der *Hydrolytische Klassen der Gläser* überschriebenen Tabelle:

a) Die *„Verwitterungsalkalität"*, d. h. die Menge Jodeosin in mg/m² gemessen, die auf der frischen Bruchfläche nach 7-tägiger Verwitterung in Luft gebunden wird, die bei 18° mit Wasserdampf gesättigt ist.

b) Die *„Lösungsalkalität"*, d. h. die Jodeosinmenge, in mg/m², welche von einem auf die geblasene Oberfläche wirkenden wässerigen Auszuge (II und III) gebunden wird. (Auszug I entspricht der Vorbehandlung mit Wasser.)

Die als Grenzwerte festgesetzten Zahlen sind folgende:

der Chemie" herzustellen. Bei der hydrolytischen Klasseneinteilung der Gläser hatte man natürlich nur den *Großverbrauch* von chemischen Geräten für solche Arbeiten im Auge, bei denen wässrige Lösungen und organische Flüssigkeiten verhältnismäßig kurze Zeit auf Glas einwirken. Temperatur und Druck halten sich dabei jedenfalls in mäßigen Grenzen. Es handelt sich also um das allgemeine Arbeitsgerät auf dem Tisch des Chemikers. Wenn man für diesen weitaus größten Bedarf den Begriff eines Normalglases zahlenmäßig festsetzen will, so darf man wohl sagen: In *chemischer* Beziehung genügt die Prüfung der Glasgeräte nach dem Verfahren der Reichsanstalt, um allgemein „gute" und „schlechte" Gläser zu trennen. Jedenfalls kann man behaupten: das große Heer der *gewöhnlichen*, für chemische Zwecke *nicht* genügend haltbaren Alkali-Silikatgläser wird durch die Eosinprobe ausgeschaltet. Aber die übrigbleibenden Gläser erster Klasse wird ein vorsichtiger Chemiker doch nicht unbesehen in Gebrauch nehmen. Das chemische Arbeitsgerät für den täglichen Gebrauch muß noch andere Bedingungen erfüllen — auch andere *chemische* Bedingungen —, die man aus der Alkalität nicht erkennt. Gibt es doch alkalifreie Gläser, die sehr schlecht sind! Dazu kommt die Frage, was denn bei der Zersetzung des besten Glases, nach län-

*Hydrolytische Klassen der Gläser.*

mg Jodeosin auf 1 m².

| Hydrolytische Klassen | Amtliche Bezeichnung der Glasarten | a) Verwitterungsalkalität der Bruchfläche | b) Lösungsalkalität der geblasenen Oberfläche nach Einwirkung | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | des 1. Auszuges bei 18° in 3 Tagen | des 2. Auszuges bei 18° in 7 Tagen | des 3. Auszuges bei 80° in 3 Stund. |
| 1. Klasse | Wasserbeständige Gläser . . . . . | 0—5 | ? | 0—5 | 0—20 |
| 2. „ | Resistente „ . . . . . | 5—10 | ? | 5—16 | 20—61 |
| 3. „ | Härtere Apparaten- „ . . . . . | 10—20 | ? | 16—49 | 61—202 |
| 4. „ | Weichere Apparaten- „ . . . . . | 20—40 | ? | 49—202 | 202—809 |
| 5. „ | Mangelhafte „ . . . . . | über 40 | ? | über 202 | über 809 |

Die Klasseneinteilung ist leicht zu merken, da jeder *schlechteren* (höher bezifferten) Klasse der *doppelte Wert* der Verwitterungsalkalität der vorhergehenden (besseren) Klasse entspricht. Die Frage ist, ob durch die Grenzwerte der Alkalität eines chemischen Geräteglases die normalen Ansprüche an die Leistungen für den Gebrauch im Laboratorium und in der chemischen Industrie hinreichend bestimmt sind. Eine kurze Überlegung zeigt, daß davon keine Rede sein kann.

Die Ansprüche des Chemikers an sein Arbeitsgerät sind so verschieden, daß es keinen Stoff gibt, der für alle Fälle widerstandsfähig genug wäre, um daraus „Normalgeräte für alle Zwecke

gerer Einwirkung der darin gekochten Flüssigkeiten, an *anderen* Stoffen abgegeben wird, außer den Alkalien. Für metallurgische Arbeiten kann das hydrolytisch „beste" Glas *schlecht* sein, wenn es Blei, Zink oder andere Metalle bei der unvermeidlichen Zersetzung seiner Oberfläche durch den Angriff der eingeschlossenen Flüssigkeiten ausscheidet; den Chemiker, der *Alkali* bestimmen will, werden solche Metalle nicht stören; der *Organiker* stellt seine besonderen Ansprüche. Für die *gerichtliche Chemie* dürfen nur Gläser verwendet werden, die kein *Arsen* enthalten. In der Regel macht man dem Gemenge des Glases einen geringen Zusatz von arseniger Säure, um die Schmelze gut zu läutern, d. h. blasenfrei zu erhalten. Dieser unscheinbare Bestandteil der Glasmasse kann verhängnisvoll werden, wo dem Che-

[1]) Silikat-Zeitschrift, Coburg 1, 2 (1913).

miker die Entscheidung zufällt, eine Arsenvergiftung an Leichenresten nachzuweisen[1]).

Allerdings haben sich die Chemiker über die Zusammensetzung ihres Geräteglases noch wenig Kopfschmerzen gemacht, wohl aber die *Pharmazeuten*. Zwar bildet die Aufbewahrung von Chemikalien in Glasgefäßen eine ganz andere Beanspruchung als die analytische und synthetische Arbeit im Laboratorium; aber man bekommt ein anschauliches Bild der vielseitigen chemischen Ansprüche, wenn man einmal hört, was die Pharmazie verlangt.

*Lesure*[2]) hält es für zweckmäßig, nach folgenden Gesichtspunkten die geeigneten Gefäße zur Aufbewahrung oder Zubereitung und analytischen Prüfung von Chemikalien auszuwählen:

1. Für Lösungen mit hydrolysierbaren Bestandteilen (Typus Kokain): *neutrale* Gläser, d. h. solche, die unter den gewöhnlichen Bedingungen der Sterilisation im Autoklaven kein Alkali abgeben.

2. Für Salzlösungen, welche mit Kalk unlösliche Verbindungen bilden (Phosphate, Arsenate usw.): kalkfreie Gläser, d. h. Gläser, welche (außer Alkalien) z. B. Aluminium, Zink oder Magnesium enthalten.

3. Für wenig veränderliche Substanzen (Natriumkakodylat, Methylarsenat, Salze des Strychnins, Sparteïns, Quecksilbers, Lösungen von Chloriden, Sulfaten usw.) wird man vorzugsweise zu *wenig alkalischen* Gläsern greifen, die z. B. nicht mehr verbrauchen als 5 cm³ $^1/_{100}$ normale Sodalösung auf 100 cm³ Lösung in einem Kolben von entsprechender Größe nach ½-stündigem Erhitzen auf 100°.

4. Für die Lösungen von Chlorüren, Bromüren, Jodüren usw. wird man *Bleigläser ausschließen*.

„Chemisch-normal" ist also ein zweifelhafter Begriff vom Glase! In Wahrheit haben wir es nicht mit einem feststehenden Anspruch, sondern vielmehr mit einem *Problem der Glasforschung* zu tun, mit dem sich auch der Chemiker befreunden sollte.

Aber mit der chemischen Seite allein ist die Bestimmung normaler Gerätegläser nicht abgetan, es kommen *thermische Ansprüche* hinzu. Früher brauchte man darüber nicht viel nachzudenken. Man war gewohnt, daß „das" Glas bei rascher Erhitzung oder Abkühlung infolge von Temperaturspannung platzte. Heute kennt jeder Chemiker den Unterschied zwischen den gewöhnlichen Silikatgläsern und dem *Jenaer Geräteglas*, dessen wesentlichster Vorzug die gesteigerte thermische Widerstandsfähigkeit ist. Wo aber große Unterschiede in den *physikalischen* Eigenschaften von chemisch gleichwertigen Gläsern möglich sind, muß man ihre Grenzwerte bei der Bestimmung eines Normalbegriffes für Geräte beachten.

Offenbar wird im Momente des Springens die Festigkeitsgrenze des durch ungleiche Erwärmung gespannten Körpers überschritten. Da nun die *Druck*festigkeitsgrenze aller bekannten Gläser bedeutend größer ist als ihre *Zug*festigkeit, so wird sich die Wirkung der vorhandenen Zugspannung zuerst äußern; bevor die gleichzeitig vorhandene Druckspannung die Zertrümmerung herbeiführt, *zerreißt* das Glas, weil die Grenze der Zugfestigkeit überschritten wird. Aus diesen und anderen Überlegungen gelangt *Winkelmann*[1]) zur Definition eines *„thermischen Widerstandskoeffizienten"*:

$$W = \frac{Z\sqrt{k}}{E \cdot \alpha \cdot \sqrt{s} \cdot C}.$$

In Worten besagt die Formel, daß die Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel der Zugfestigkeit $Z$ und der Wurzel aus der Wärmeleitfähigkeit $k$ direkt proportional ist, hingegen umgekehrt proportional dem Elastizitätsmodul $E$, dem Ausdehnungskoeffizienten und der Wurzel aus der Wärmekapazität der Volumeneinheit. Sie wurde von *Winkelmann* unter der Voraussetzung abgeleitet, daß die Oberfläche des Körpers eine unendlich ausgedehnte Ebene sei. Hat die darunter befindliche unendliche Glasmasse die Temperatur $\tau$, und wird die Oberfläche plötzlich auf $\tau_0$ abgekühlt, dann ist die höchste Temperaturdifferenz, welche die Glasmasse ohne zu springen verträgt:

$$\tau - \tau_0 = a \cdot W,$$

wenn $a$ einen von der chemischen Zusammensetzung des Glases unabhängigen Faktor bedeutet. Um die Widerstandsfähigkeit *unmittelbar* zu prüfen, stellte *Winkelmann* mit Gläsern folgende Versuche an: Polierte Würfel von 20 bzw. 10 mm Kante wurden in Wasser oder über 100° in Glyzerin erhitzt und plötzlich in kaltes Wasser getaucht. Hierbei treten Sprünge auf, deren Zahl um so größer ist, je weiter das zulässige Temperaturintervall überschritten wird. Es ist bemerkenswert, daß das vorher erwähnte Jenaer Borosilikatglas 59 III für Thermometer zugleich mit der geringen thermischen Nachwirkung eine vorzügliche thermische Widerstandsfähigkeit besitzt. Zu den „chemischen Verwandten" dieses Glases gehört auch das bekannte Jenaer Geräteglas. Die Widerstandsfähigkeit dieses Glases beim Anheizen charakterisiert sich nach *A. Winkelmann*[2]) und *O. Schott* wie folgt: Bechergläser aus diesem neuen Glase dürfen unmittelbar (ohne Drahtnetz) der Wirkung von einem oder mehreren Bunsenbrennern ausgesetzt werden, um Wasser zum Sieden zu bringen und im Sieden zu erhalten; auch die größten Bechergläser halten eine derartige Behandlung aus. Der Temperaturanstieg über dem Bunsenbrenner ist mit und ohne Drahtnetz vergleichsweise:

[1]) Für diesen Zweck stellt das Jenaer Glaswerk besondere arsenfreie Gläser her.

[2]) Journ. de pharmacie 15/1 u. 1/2. 1910. [Ref.: Bull. soc. d'encouragement *113*, 244 (1910)].

[1]) Ann. d. Physik *51*, 730 (1894).

[2]) Siehe Anmerkung I.

| Ohne Drahtnetz | | Mit Drahtnetz | |
|---|---|---|---|
| Zeit in Min. | Temperat. | Zeit in Min. | Temperat. |
| 0 | 11,0° | 0 | 10,5° |
| 6 | 61,0° | 6 | 36,5° |
| 11,3 | Wasser siedet | 12 | 59,2° |
| | | 18 | 78,9° |
| | | 24 | 92,5° |
| | | 28,6 | Wasser siedet |

Der Gasverbrauch über dem Bunsenbrenner in der Minute:

A. Um 1 Liter Wasser von 13° in einem Becherglase von 10 cm Durchmesser zum Sieden zu bringen:

| ohne Drahtnetz | mit Drahtnetz |
|---|---|
| 30,5 L. | 74,0 L. |

B. Um 1 Liter siedendes Wasser in einem Becherglase von 10 cm Durchmesser im Sieden zu erhalten:

| ohne Drahtnetz | mit Drahtnetz |
|---|---|
| 1,1 L. | 2,6 L. |

Aus den Beobachtungen geht hervor, daß durch Fortlassung des Drahtnetzes eine Zeitersparnis von 60 % und eine Verminderung des Gasverbrauchs von 58 % erreicht wird, was natürlich nur möglich ist, wenn man dem Glase eine Zusammensetzung von genügend hoher thermischer Widerstandsfähigkeit erteilt.

Eine *amtliche thermische* Prüfung besteht zurzeit für Gerätegläser noch nicht; dagegen hat die Physikalisch-Technische Reichsanstalt eine Klasseneinteilung für *Beleuchtungsgläser* getroffen. Diese Einteilung soll sich auf Lampengläser beziehen, die für Lichtquellen mit offener Flamme bestimmt sind. Also insbesondere für Gaslicht, Petroleumlicht und Spirituslicht. (Elektrotechnische Glühlampengläser und andere Arten der Beleuchtung gehören nicht dazu.) Die Bewertung der verschiedenen Klassen stützt sich auf den Ausdehnungskoeffizienten wie folgt:

| Klasse | Linearer Ausdehnungskoeffizient | Bezeichnung | |
|---|---|---|---|
| I | 0 bis $35 \cdot 10^{-7}$ | hochhitzebeständige | Beleuchtungsgläser |
| II | 36 „ $45 \cdot 10^{-7}$ | gut „ | |
| III | 46 „ $55 \cdot 10^{-7}$ | mäßig „ | |
| IV | 56 „ $65 \cdot 10^{-7}$ | schwach „ | |
| V | $66 \cdot 10^{-7}$ u. höher | minderwertige | |

Die physikalisch-technische Reichsanstalt beglaubigt lediglich den Ausdehnungskoeffizienten. Wie sich aus der Formel von *Winkelmann* ergibt, ist der Ausdehnungskoeffizient *allein* nicht maßgebend für die thermische Widerstandsfähigkeit, dies gilt auch für die Beurteilung der Beleuchtungsgläser. Mit den in der Tabelle angeführten Bezeichnungen der thermischen Klassen als „hochhitzebeständige", „guthitzebeständige" usw. Beleuchtungsgläsern darf man keinen anderen Sinn verbinden, als den einer *relativen Bewertung der Glasmasse in bezug auf Temperaturspannungen, die von der Größe des Ausdehnungskoeffizienten unmittelbar abhängen.* Zum Begriff eines *Normalglases* für eine bestimmte Beleuchtungsart (z. B. Gasglühlicht, Glühlampen) würde vom Standpunkt der *Beleuchtungstechnik* der Anspruch eines geringen Ausdehnungskoeffizienten nicht genügen. — Auch hier bleibt ein Problem der Glasforschung bestehen, dessen Lösung der Zukunft vorbehalten ist.

Glas ist in bezug auf den Verwendungszweck einer der vielseitigsten aller Werkstoffe. Dementsprechend ist das Problem des Normalglases für den Erfinder neuer Gläser ebenso wie für den technischen Naturforscher unerschöpflich. Mehr oder weniger bewußt hat man daher auch bei jeder Anwendung eines neuen Glases für bestimmte Zwecke die Herausbildung eines *Normalglases* angestrebt, dessen chemische Zusammensetzung die Erfüllung bestimmter Mindestansprüche im Gebrauch verbürgt. Bezeichnend ist, daß überall, wo eine gewisse *Sicherheit des Betriebes* technischer Einrichtungen von der Art und gleichmäßigen Beschaffenheit des benutzten Glases abhing, die Mindestansprüche auf Grund eines besonderen Prüfungsverfahrens festgelegt worden sind. Hierzu nur zwei Beispiele: das *Wasserstandsrohr* am Dampfkessel und der Schutzzylinder für die *Grubenlampen* im Kohlenbergbau. In beiden Fällen hängt die Betriebssicherheit in erheblichem Maße von der Widerstandsfähigkeit des Glases ab.

Das *Wasserstandsrohr* muß dem Dampfdruck im Schiffs- und Lokomotivkessel gewachsen sein, es muß den Angriff des Kesselwassers vertragen und darf bei plötzlicher Abkühlung von außen nicht platzen. Die Festigkeit der älteren Wasserstandsröhren aus dem gewöhnlichen Kalk- und Bleiglas ist für kalten Wasserdruck sehr hoch. Wie *Schott*[1]) und *Herschkowitsch* nachgewiesen haben, hält Glas überhaupt bei der verschiedensten Zusammensetzung in Form von etwa 2 cm weiten, 2—4 mm starken Röhren *kalten Druck* von 200 bis 300 Atm. aus. Anders bei gesteigerter Temperatur des Kesselwassers und Dampfes. Hierbei müssen die Gläser nicht bloß dem Innendruck, sondern gleichzeitig auch einem hohen *Temperaturunterschied* widerstehen, der beim praktischen Gebrauch noch dadurch verschärft wird, daß die Außenwand des Wasserstandsrohres durch Luftzug oder angespritztes Wasser, Schnee usw. vorübergehend plötzlich abgekühlt wird. Um die Gläser daraufhin zu prüfen, haben *Schott* und *Herschkowitsch* die dem heißen Kesseldruck ausgesetzten Röhren „durch Anspritzen mit einem kalten Wasserstrahl (eine Sekunde lang) zum Platzen gebracht und den entsprechenden Kesseldruck bestimmt. Während die gewöhnlichen Gläser bei dieser Behandlung nur 6—8 Atm. vertragen, hält

[1]) Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure *45* (1901).

das Jenaer *Durobaxglas*[1]) für Wasserstandsröhren im Mittel 31 Atm. heißen Kesseldruck beim Anspritzen mit kaltem Wasser aus. Es wäre eine dankbare Doktoringenieur-Arbeit, das Problem eines Normalglases für die Wasserstandsrohre der Dampfkessel mit naturwissenschaftlich-technischer Gründlichkeit *theoretisch und experimentell* zu behandeln. Was geschieht während des Gebrauches bei der Einwirkung des Kesselwassers und hocherhitzten Dampfes bei vorübergehender plötzlicher Abkühlung der Außenwand des Rohres? Welchen Grenzansprüchen in bezug auf chemische Widerstandsfähigkeit, Unlöslichkeit, Festigkeit und thermische Widerstandsfähigkeit muß die Glasmasse des Rohres genügen? Wie ändern sich die Ansprüche mit den Abmessungen des Rohres, der Höhe des Wasserstandes usw.? *Wie erklärt sich* überhaupt das Zerspringen des Rohres, welche Arten von Spannungen treten dabei auf, und wie hängt der ganze Vorgang schließlich mit den *physikalischen Konstanten der Glasmasse* zusammen? — Dies sind einige der wichtigsten Fragen, mit denen das Wasserstandsrohr, wie gesagt, zum Problem der Glasforschung wird.

Ähnlich bei der *Grubenlampe*, von deren Betriebssicherheit das Leben der Bergleute abhängt, wo die Grube von schlagenden Wettern bedroht ist. An den Zylinder einer solchen Lampe werden mechanische und thermische Ansprüche bestimmter Art gestellt. Auch hier, wie in allen Fällen, kommt es darauf an, naturwissenschaftlich aufzuklären, was beim Gebrauch des Glaskörpers mit diesem geschieht, um die technischen Mindestansprüche eines Normalglases für diesen Zweck zu finden.

Bei der Betrachtung des allgemeinen Begriffs[2]) hatten wir das technische Glas allgemein bestimmt als „ein in einer amorphen Substanz materialisiertes Bündel physikalisch-chemischer und technischer Konstanten, deren Werte bezüglich der chemischen Homogenität, inneren Reibung, Feuerbeständigkeit, Lichtdurchlässigkeit und Haltbarkeit innerhalb der Grenzwerte wählbar sind, welche zurzeit für die Normalgläser zu besonderen Zwecken festgelegt sind, zu denen die verschiedenen Glasarten zweckmäßig gebraucht werden können". Vergleicht man damit die *praktisch* festgestellten Grenzwerte der Normalgläser für Thermometer, chemische Geräte und Gefäße, Beleuchtungszwecke, Wasserstandsröhren und Grubenlampenzylinder u. a., so wird man finden, daß in der Regel nur eine einzige von den allgemeinen Konstanten (nämlich die Haltbarkeit) genauere Bestimmung durch Grenzwerte gefunden hat. Dagegen sind die für den allgemeinen Glasbegriff *beliebigen* Konstantenwerte für die Normalgläser, je nach dem Zweck, dem sie dienen sollen, näher bestimmt. Kurz: man hat nur Grenzwerte festgesetzt bei Eigenschaften, auf die es beim Gebrauch eines Normalglases *besonders ankommt* — also nur die „spezifischen" Grenzwerte —, während man sich bei den *„allgemeinen"* Eigenschaften darauf verläßt, daß das betreffende Glas „gut" ist.

Der Optiker hat wohl zuerst erfahren müssen, daß man bei der Anwendung der Gläser nicht so leichtsinnig sein darf. In der Optik wird daher seit langer Zeit auch eine *allgemeine* Eigenschaft des Glases scharf geprüft, die nichts mit der spezifischen Leistung *optischer* Normalgläser zu tun hat: die Haltbarkeit. Für diesen Zweck hat die Physikalisch-Technische Reichsanstalt die oben angeführte hydrolytische Klasseneinteilung nach der Verwitterungsalkalität eingeführt, und seitdem ist man gewohnt, in den Begriff, z. B. eines *Normalglases für Prismen*, die „hydrolytische Klasse" einzuschließen.

Ohne Zweifel ist die Vernachlässigung der allgemeinen Grenzwerte des Glases auch bei anderen Normalgläsern ein Mangel der Bestimmtheit. Auch, wo der Spielraum für den Verwendungszweck des Glases sehr groß erscheint, sollte man nicht unterlassen, die Grenzwerte desselben in den Begriff des Normalglases einzuschließen. Man denke besonders an die Lichtdurchlässigkeit, die innere Reibung (Schmelzbarkeit), Feuerbeständigkeit (Unveränderlichkeit bei hoher Temperatur, namentlich in Berührung mit Verbrennungsgasen) stets vor allem, an die Haltbarkeit. Dazu nur einige Beispiele: Lampenzylinder können unbrauchbar sein, auch wenn sie niedrige Ausdehnung haben; Bleiglas bekommt in Berührung mit der Flamme einen Bleispiegel, ist also für viele Zwecke nicht genügend „feuerbeständig"; die meisten Gläser sind mehr oder weniger stark grün gefärbt durch Eisenoxyd oder (bei Anwendung von „Entfärbungsmitteln") grau; sie können sehr verschieden in der Lichtdurchlässigkeit sein, und man kann die Färbung nicht vernachlässigen.

Ich darf diese Betrachtung wohl schließen in der Überzeugung, gezeigt zu haben, daß das Problem der Normalgläser recht interessante Aufgaben stellt, deren wissenschaftliche Bearbeitung lohnt.

[1]) *H. Thiene*, Deutsche Mech.-Zeitg. 1912, S. 165.
[2]) Die „Naturwissenschaften" *6*, 509 (1918).

---

## Zoologische Mitteilungen.

**Über das Verhalten der Landinsekten und Spinnen dem Wasser gegenüber** handelt eine Arbeit von *J. S. Szymanski* im *Biologischen Zentralblatt*, Bd. *38*, Nr. 8. Fast 50 Insektenarten wurden mit Rücksicht auf die Frage untersucht, wie sie sich bei Überschwemmungen von den dabei entstehenden kleinen „Inseln" ans „Land" herüberretten können. Das zu prüfende Insekt wurde auf eine kleine Holzbrücke mit zwei Leitern gesetzt. Die Brücke wurde in ein Gefäß mit lauwarmem Wasser so eingebracht, daß sie über den Wasserspiegel emporragte und die beiden Leitern unter dem Wasserspiegel bis zum Gefäßgrund führten. Die auf die Brücke gebrachten Insekten zeigten die folgenden 4 Verhaltungsarten: 1. Gut fliegende oder springende Insekten verlassen die Brücke, indem sie davon-

fliegen bzw. über die Wasserfläche ans „Land" hinüberspringen. Die leichten, schnell beweglichen Insekten, die ohne einen erhöhten Punkt nicht aufzufliegen vermögen, laufen schnell auf der Brücke auf und ab, fallen zufällig ins Wasser und bleiben schließlich auf dem Wasserspiegel regungslos liegen. Diese Arten können sich augenscheinlich aus einem überschwemmten Gebiet nur durch Davonfliegen retten. 2. Gut schwimmende Landinsekten werfen sich spontan ins Wasser und schwimmen ans „Land". 3. Eine Spinnenart (Lycosa chelata) läuft von der Brücke auf den Wasserspiegel hin. Wenn sie verhindert wird, das „Land" zu erreichen, so bleibt sie mit zurückgezogenen Beinen regungslos auf dem Wasserspiegel liegen. Wenn sie in diesem Zustand auf die Brücke gebracht wird, so geht sie nicht wieder spontan ins Wasser. Andere Spinnenarten können auf dem Wasserspiegel weder laufen noch stehen, noch andere können darauf stehen, aber kaum laufen. 4. Schwere, langsame und nur schwer oder gar nicht fliegende Arten gehen spontan ins Wasser, gelangen in der Regel auf den Leitern bis zum Gefäßgrund und bemühen sich das „Land" zu gewinnen. Zunächst suchen sie die ganze Brücke ab, dann machen sie einen Versuch, ins Wasser zu gehen, darauf einen zweiten, dritten usw., wobei sie ganz benetzt werden, bis sie schließlich definitiv unter den Wasserspiegel gehen. Dieses Verhalten beweist, daß das zunehmende Benetzen des Körpers als adäquater Reiz für das Untertauchen dient.

**Die Tragödie der Flußmuscheln** betitelt sich ein Aufsatz von *Hans Friedrich* im *Zoologischen Beobachter*, Jahrg. 59, Nr. 5/6. Für die Muscheln ist gesundes Wasser eine Lebensnotwendigkeit. Die Flußmuscheln stellen darin noch nicht einmal so hohe Ansprüche wie z. B. die Flußperlmuschel, die nur in dem klaren Wasser der Gebirgsbäche zu gedeihen vermag. Aber auch bei ihnen spielt es eine grundlegende Rolle. Bei den Muscheln vollzieht sich nämlich die Entwicklung der Eier in den Kiemen des Muttertieres. Hier bilden sich die jungen Larven, die sogenannten Glochidien, aus. Verseuchtes Wasser muß ihnen ohne Gnade den Tod bringen. Unsere Industrie hat nun durch ihre Abwässer die Flüsse mit Beschlag belegt. Oft sind diese nur noch ein buntschillerndes, schmutziges Mischmasch aller möglichen Fremdstoffe. Ungeheure Mengen von Chemikalien wandern täglich in die Flüsse. Schwefelsäure, Chromsäure, Salzsäure, rohe Salpetersäure, rohes Natrium- und Kaliumhydroxyd in Form von Seifenstein verseuchen das Wasser. Darum sind heute Flußbezirke, die früher reiche, von Tausenden von Tieren bewohnte Muschelbänke besaßen, völlig oder doch auf weite Strecken hin verödet. Immer mehr werden die Muscheln in die Bäche und Seen zurückgedrängt, insofern nicht auch hier die Industrie bereits ansässig geworden ist. Hier aber bilden sie infolge der ganz verschiedenen Umgebung andere Formen. Ihre Fähigkeit, sich dem veränderten Standort anzupassen, führte die Molluskenkundigen dazu, immer neue Arten zu bestimmen. *Servain* beschrieb allein aus dem Main zwischen Frankfurt und Hanau nicht weniger als 20 Arten Teichmuscheln (Anodonten). *Clessin* und andere deutsche Forscher haben dann diese Artenfülle auf wenige, allerdings sehr veränderliche Grundtypen zurückgeführt. Diese Anpassungsfähigkeit hat den Muscheln in der neueren Wissenschaft große Bedeutung verliehen, besonders mit Hinblick auf die Erdgeschichte und die Bestimmung des Alters unserer Flußsysteme. *Kobelt* wies an der Hand eines reichen Materiales nach, daß z. B. der Rhein ein ziemlich junges Flußsystem ist, was mit den Ergebnissen der Geologie durchaus übereinstimmt. Diese Forschungen sind noch keineswegs für ganz Deutschland abgeschlossen, und da die Vernichtung der Flußmuscheln unaufhaltsam weiter vorwärts schreitet, so könnte es möglich sein, daß es vor Beendigung dieser Forschungen in wichtigen Stromgebieten überhaupt keine Muscheln mehr gibt. Daher wendet sich *W. Israel* in seiner „Biologie der europäischen Süßwassermuscheln" besonders an die Lehrer, die Schalen der Flußmuscheln zu sammeln und mit genauen Fundortangaben versehen an das Senckenbergische Institut nach Frankfurt a. M. zu schicken, wo die wissenschaftliche Bearbeitung erfolgt. So sehen wir also, daß die lange unbeachtet gebliebenen Flußmuscheln gerade im Augenblicke ihres Unterganges erhöhte Wichtigkeit gewinnen. Dieser Untergang selbst aber ist nicht abzuwenden. Und wie bei uns, so steht er in England, Frankreich, Südschweden und Nordamerika in entfernterer oder näherer Zeit bevor.

**Das Kleintierleben um Locarno (Lago maggiore)** schildert *Karl Soffel* im *Zoologischen Beobachter*, Jahrgang 59, Heft 2—4. Der Malakozoologe kommt in dieser Gegend nicht sehr auf seine Rechnung. Die andauernde Besonnung und das kalkfreie Substrat sind ungünstige Faktoren für die Ausbreitung der Schnecken und Muscheln. Helix pomatia ist zwar häufig, die kleinen Tachea-Arten aber fehlen fast ganz. Da die Ufer des Lago um Locarno meist aus Granitschotter gebildet sind, so ist dort ein schlechtes Terrain für Wasserschnecken und Süßwassermuscheln. Daher sind auch Paludinen und Planorben sowie Unioniden recht spärlich vertreten. — Um so reicher ist das Kerbtierleben. Viele Spezies sind massenhaft vorhanden, viele Formen sind auffallend und dem Nordländer ungewöhnlich. Unter der reichen Myriopoden-Fauna ist Polydesmus complanatus L. sehr häufig, nicht minder die an der Riviera verbreitete langbeinige Scutigera coleoptrata L., der heillos gefürchtete Spinnenläufer. Während dieser sich besonders in Wohnungen aufhält, findet sich Lithobius im Gebüsch der Gärten und Parkanlagen. Juliden in verschiedenen Arten sind natürlich gemein, ebenso Ephemeriden, Libellen und Perliden. Unter den Libellen sind Libellula scotica Donov. und L. striolata Charp. besonders typisch. Sehr häufig sind Blattiden, jedoch wegen ihrer Scheuheit nur bei der Suche zu beobachten. Von Mantiden ist die europäische Gottesanbeterin (Mantis religiosa L.) vorhanden, wenn auch nicht jedes Jahr in gleicher Zahl. Reich ist die Artenzahl der Locustiden. Am schönsten, farbigsten sind die Angehörigen der Gattung Barbitistes, die im Gegensatz zu unserem Heupferd aber Pflanzenfresser sind. Acridier sind im Herbst in unbeschreiblich großen Mengen vorhanden. Wirklich hübsche Formen finden sich unter den zahlreichen Heteropteren (Wanzen). Von den das Wasser bewohnenden ist Ranatra linearis L. hervorzuheben, die gar nicht selten ist, trotzdem aber nur zufällig erbeutet wird. Von Landwanzen gibt es ein Heer. Ebenso begegnen wir Zirpen und Zikaden allerorten. Das Hochsommerkonzert der Tettigia orni L. ist so typisch für die Mittagszeit südlicher Landschaft, daß es selbst dem naturfremdesten Städter auffallen muß. Die mannigfachen Formen der Läuse entziehen sich meist der Beobachtung des Wanderers. Doch wird dieser oft mit ihren Werken bekannt, so bei der großen Zahl der Galläuse, besonders der Fichten-Galläuse (Chermes abietis L.) und der Pappel-Wollaus (Pemphigus spirothecae Pass.). Ungeheuer häufig kommen im Delta die in Sandtrichtern lebenden Larven der Ameisenjungfern vor. Auch die vielgestaltigen

Larvengehäuse der Köcherfliegen kann man beim Baden im See, bei Exkursionen in Bächen usw. nicht übersehen. In bezug auf Schmetterlinge ist dem sammelnden und beobachtenden Forscher sowohl an Arten- und Individuenzahl als auch an auffallenden und seltenen Arten ungeheuer viel geboten. Besonders dem, der sich mit „Mikros" beschäftigt, ist hier ein wundervolles Arbeitsfeld beschert. Unter den „Makros" ist besonders Samia cynthia walkeri Fldr. zu erwähnen, ein wunderhübscher großer Spinner, der 1845 aus China nach Europa gebracht wurde, wo man ihn in Frankreich zwecks Seidegewinnung züchtete. Im Tessin hat er sich zu einer im Grundton gelblicheren Lokalform herausgebildet. 1889 trat er bei Lugano auf, seit 1897 kennt man ihn von Locarno. Seine Futterpflanze ist der Götterbaum (Ailanthus), doch nimmt er auch mit Prunus, Juglans, Ilex und anderen Pflanzen vorlieb. — Zweiflügler sind im Sonnenlande gemein und bieten dem Spezialisten reiche Ausbeute. Besonders scheinen Tipuliden häufig zu sein, und die Schweb- und Raubfliegen eine reiche Formenwelt aufzuweisen. Unter den Käfern sind „Glühwürmchen" ungeheuer häufig, ganz besonders Luciola italica L., eine Art, die im Juni zu ungezählten Millionen fliegt und viel stärker als Lampyris noctiluca L. leuchtet. Besonders die Straße von Locarno nach Tegna ist alljährlich der Schauplatz eines märchenhaften Naturfeuerwerks. — Auch an Hautflüglern ist Locarnos Umgebung überaus reich, doch tut sich dies erst nach eingehenderem Studium kund, da die meisten Arten kleine Tiere sind. Von Skorpionen ist Euscorpius europaeus Hrbst. gemein und auch in Häusern zu finden. Als Mittel gegen den Stich empfiehlt der Tessiner lebende Skorpione in heißes Öl zu werfen und mit der so gewonnenen „Arznei" die Wunde zu bestreichen.

**Über die Waldspitzmaus (Sorex araneus L.) in der Gefangenschaft** berichtet *Anton Krausse* im *Zoologischen Beobachter,* Jahrg. 59, Nr. 4. Interessant ist besonders der Speisezettel des winzigen Tieres; eine kurze Zusammenstellung ergibt für 7 Tage folgendes: 1. Tag: 18 Schnecken, 4 Cochlidionraupen, ca. 1 ccm Speck, 2 Stückchen Leberwurst, eins von Haselnuß-, eins von Wallnußgröße. 2. Tag: 19 Schnecken, 3 Cochlidionraupen, 5 Stubenfliegen, 1 Bockkäfer, 2 Beerenwanzen. 3. Tag: 18 Schnecken, 2 Cochlidionraupen, 1 Dasychiraraupe (ohne Haut und Haare), 2 Stubenfliegen, 1 Schmeißfliege, ein kleiner Frosch. 4. Tag: 10 Schnecken, 34 Cochlidionraupen, 1 Spannerpuppe, 1 Stubenfliege, 1 Schmeißfliege. 5. Tag: 17 Schnecken, 19 Cochlidionraupen, 1 Libelle, 1 Heuschrecke, 2 Weberknechte, 2 Stubenfliegen, 10 Sesienraupen, 1 Schwärmerpuppe. 6. Tag: 6 Schnecken, 47 Cochlidionraupen, 1 Spannerpuppe. 7. Tag: 7 Schnecken, 32 Cochlidionraupen, 1 Stubenfliege, 1 Schmeißfliege. — Die Cochlidionraupen sind im Durchschnitt 1 cm lang und ziemlich breit, die Rückenhaut wurde nicht mitgefressen; die Bänderschnecken, zerklopft und ohne Schalenstücke in das Glas gegeben, wurden ziemlich aufgefressen, nur der Eingeweidesack wurde meist liegen gelassen. Schon nach wenigen Tagen hatte sich das Tierchen daran gewöhnt, die Raupen usw. von der Pinzette fortzunehmen. Zuweilen ließ der Züchter, nachdem es die Raupe erfaßt hatte, diese nicht los, alsdann stemmte es sich kräftig mit den Beinen auf und zerrte tüchtig, ohne einen Augenblick loszulassen. Oft hob *Krausse* es dabei in die Höhe, so daß es frei in der Luft schwebte, mit ausgestreckten Beinen balanzierend, ohne loszulassen. Oft kam es schon aus dem Neste heraus, wenn der Fütternde leise an das Glas klopfte. Es schnüffelte dann, den Kopf nach oben richtend, dem Loch im Papiere zu, durch das es die Nahrung erhielt; dabei richtete es sich oft auf, eine Weile auf den Hinterbeinen sitzend. Sein ewiges Betteln, sobald der Beobachter an das Glas trat, erinnerte recht an das Benehmen der Tiere im Zoologischen Garten. Trinkwasser wurde dem Sorex nicht gereicht in der Meinung, daß die zahlreichen saftigen Schnecken genügten. Möglicherweise war dieser Umstand daran schuld, daß das Tierchen nach 13tägiger Gefangenschaft einging.

**Über das Liebesspiel einer Fliege (Chloria demandata Fabr.)** teilt *Erwin Lindner* in der *Zeitschrift für wissenschaftliche Insektenbiologie,* Berlin, Bd. *14,* Nr. 1/2 die folgende Beobachtung mit, die er am 1. November 1917 in Semendria auf einer besonnten Bank im Garten abends um 5 Uhr machte: Das Weibchen der Fliege saß zunächst anscheinend teilnahmslos, nur mit seiner Toilette beschäftigt, da. Das Männchen dagegen befand sich sichtlich in höchster Erregung, denn es führte vor der Erwählten einen tollen Tanz auf. Bald stand es in geringem Abstand vom Weibchen, ihm den Kopf zuwendend, in einer parallelen Linie zu ihm, dann lief es ein paar Mal in einem Kreis herum, oder es tanzte in einem Kreise in einigen Zentimeter Abstand vor dem Weibchen, vollendete aber den Kreis meist nicht, sondern lief in der Richtung einer Sehne gegen den Kopf des Weibchens, stellte sich einen Augenblick davor, und machte ein paar merkwürdige Seitwärtsbewegungen. Schließlich hob es das linke Vorderbein und strich mehrmals hintereinander über den Kopf des Weibchens. Dann beschrieb es wieder einen Kreis um dieses, strich mit dem Hinterleibsende ganz nahe an seinem Kopf vorüber und wurde, dies öfter hintereinander wiederholend, in seinen Bewegungen immer schneller. Das Weibchen verharrte meist unbeweglich, stürzte aber plötzlich auf das Männchen los, faßte es mit den Vorderbeinen am Hinterleibsende und schien das mit unbeweglichen Flügeln fortstrebende Männchen teils festzuhalten, teils vor sich herzutragen! Hierauf trennten sich beide wieder, das Weibchen kehrte auf seinen alten Platz oder in dessen Nähe zurück, und das Männchen begann seinen Reigen von neuem. Wieder tanzte es vor dem Weibchen umher, drehte sich dabei in rasender Geschwindigkeit am Ort, lief dann wieder ganz nahe gegen den Kopf des Weibchens, hob den linken Flügel, so daß dessen Spitze das Gegenüber fast berührte, und versetzte ihn in rasche Schwingbewegungen. Manchmal wandte sich das Weibchen ab, lief ein Stück fort, kehrte aber, vom Männchen gefolgt, wieder auf den alten Platz zurück, und bei solcher Gelegenheit saß das Männchen, ohne daß etwas Besonderes noch vorausgegangen wäre, auf das Weibchen auf, und der Coitus war vollzogen. Das Weibchen verriet seine Erregung nur durch rasches Hervorschieben und Wiedereinziehen des Rüssels in die Mundhöhle, während am männlichen Abdomen lebhafte Ejakulationsbewegungen sichtbar waren.

**Der Schwimm-Mechanismus der Roßameise** ist nach den Beobachtungen *Szymanskis (Biol. Zentralbl.* Bd. *38,* Nr. 8) ein recht komplizierter Vorgang, der aus einer Reihe von einzelnen Reflexen besteht. Die schwimmende Ameise, die bereits dank ihrem geringen spezifischen Gewicht auf der Wasseroberfläche schweben kann, hält den Kopf mit den Fühlern über den Wasserspiegel. Das Vorderbeinpaar wird nach vorn gerichtet und führt sehr rasche Bewegungen in sagittaler Ebene aus. Das Mittelbeinpaar wird seitwärts ausgespreizt und bewegt sich in einer annähernd hori-

zontalen Ebene in einem viel langsameren Tempo als das erste Paar. Das Hinterbeinpaar, das nach hinten ausgestreckt gehalten wird, bleibt bei dem Fortschwimmen in gerader Richtung unbeweglich. Bei den Wendungen setzt sich das Hinterbein, das auf der der Wenderichtung entgegengesetzten Seite liegt, in Bewegung und zwar in horizontaler Ebene, das andere Hinterbein bleibt dabei bewegungslos. Dieses Verhalten beweist, daß die Hinterbeine die Funktion des Steuerns beim Schwimmen übernehmen. *Szymanski* machte Amputationsversuche, um die Wichtigkeit der einzelnen Beinpaare für den Schwimmakt festzustellen. Es ergab sich, daß die Amputation des Vorderbeines keine Störung in der Gleichgewichtserhaltung, jedoch verlangsamtes und ungeschicktes Schwimmen nach sich zieht. Die Amputation des Mittelbeinpaares bewirkt ebenfalls keine Gleichgewichtsstörung; sie hat verlangsamtes, aber nicht ungeschicktes Schwimmen zur Folge. Die Amputation des Hinterbeinpaares beeinflußt weder die Gleichgewichtserhaltung noch die Geschicklichkeit des Schwimmens; dieses ist nur ein wenig verlangsamt. Bei den Wendungen übernehmen nach Amputation der Hinterbeine die Mittelbeine die Funktion des Steuerns. Der Schwimmakt wird am stärksten durch die Amputation der Vorderbeine, am wenigsten durch die der Hinterbeine beeinträchtigt. Die Amputation von allen drei Beinpaaren beeinflußt nicht das Schweben des Körpers in der Rückenlage auf der Wasseroberfläche. Die anderen Ameisenarten machen die gleichen Schwimmbewegungen, jedoch ohne denselben Erfolg wie die Roßameise.

*W. May, Karlsruhe.*

---

# Berichte gelehrter Gesellschaften.

## Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften.

### 14. November. Gesamtsitzung.

Vorsitzender Sekretar: Herr *Planck*.

Den geschäftlichen Teil der Sitzung eröffnete der Vorsitzende mit den folgenden Worten:

Meine verehrten Herren Kollegen! Seitdem wir das letzte Mal zusammenkamen, haben sich Ereignisse von weltgeschichtlicher Bedeutung vollzogen, deren stürmische Brandung auch in unseren friedlichen Arbeitsräumen furchtbare Spuren zurückgelassen hat. Es ist wohl kein Zweifel, daß unsere Akademie gegenwärtig eine der ernstesten Krisen ihrer Geschichte erlebt. Wir haben uns bisher stets mit Stolz Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften genannt. Mit dem Ruhm des Hohenzollerngeschlechts war die Akademie von jeher eng verwachsen, sie hat sich gesonnt an dem aufsteigenden Glanze der Entwicklung Preußens zum führenden Staat im Deutschen Reich, und entsprechend glänzend war die Entwicklung, die sie selber genommen hat, indem sie während der letzten Jahrzehnte ihr Arbeitsgebiet, ihre Mitgliederzahl, ihr Vermögen in stetig wachsendem Maße vermehrte. Alles schien darauf hinzudeuten, daß diese Wandlungen sich auch für die nächsten Jahre in demselben ruhigen Fluß weiter vollziehen würden. Seit dem letzten Sonnabend, dem 9. November, ist alles anders geworden.

Schon am Sonntag vormittag zeigten unsere Säle die Spuren der durch die aufregenden Vorgänge der vorhergehenden Nacht veranlaßten Beschießung, besonders gelitten haben dabei die an der Südostseite unseres Gebäudes befindlichen Räume; von da ab wiederholte sich an jedem der nächsten darauffolgenden Tage das Schießen, das gewaltsame Öffnen verschlossener Türen, das Durchsuchen aller Räume vom Keller bis zum Dache nach verdächtigen Personen, die sich heimlich in dem Gebäude versteckt halten sollten, ohne daß bisher in irgendeinem Falle ein greifbares Ergebnis zutage kam. Von unserer Seite ist alles getan worden, was unter den außergewöhnlichen Verhältnissen möglich erschien, um gegen die Fortsetzung der Beschädigungen bei den Behörden Schutz zu finden; seit gestern ist uns endlich die Hilfe einer dauernden Wache zugesichert worden, so daß nunmehr die Zustände besser geworden sind.

Freilich kann niemand wissen, was die nächsten Tage bringen werden. Aber wenn die Akademie jetzt ihre Sitzungen unterbrechen wollte, in der Erwägung, daß es in dieser stürmischen Zeit auf etwas mehr oder weniger Wissenschaft schließlich nicht viel ankommt, so würde das nach meinem Empfinden — und ich darf hier zugleich auch im Namen des ganzen Sekretariats sprechen — das Verkehrteste sein, was sie tun könnte. Es wäre selbst dann verkehrt, wenn es sich um weniger kostbare Güter handeln würde, als die sind, welche die Akademie zu verwalten hat. So aber liegt die Sache gar nicht, sondern eher gerade umgekehrt. Wenn die Feinde unserem Vaterland Wehr und Macht genommen haben, wenn im Innern schwere Krisen hereingebrochen sind und vielleicht noch schwerere bevorstehen, eins hat uns noch kein äußerer und innerer Feind genommen: das ist die Stellung, welche die deutsche Wissenschaft in der Welt einnimmt. Diese Stellung aber zu halten und gegebenenfalls mit allen Mitteln zu verteidigen, dazu ist unsere Akademie, als die vornehmste wissenschaftliche Behörde des Staates, mit in erster Reihe berufen. Und wenn es wahr ist, was wir doch alle hoffen müssen und hoffen wollen, daß nach den Tagen des nationalen Unglücks wieder einmal bessere Zeiten anbrechen, so werden sie ihren Anfang nehmen von dem aus, was dem deutschen Volke als Bestes und Edelstes eigen ist: von den idealen Gütern der Gedankenwelt, denselben Gütern, die uns schon einmal, vor hundert Jahren, vor dem gänzlichen Zusammenbruch bewahrt haben. Sofern die Akademie an der sorgsamen Pflege des ihr aus diesem Schatz anvertrauten Pfandes festhält, handelt sie nicht nur rückschauend treu dem Geiste ihres Stifters *Leibniz*, sondern auch in kluger Voraussicht auf die Zukunft.

Denn das Forum, vor dem wir uns einst zu verantworten haben werden, wird zunächst gebildet sein von denen, die künftig unsere Stelle einnehmen werden. Ebenso wie wir jetzt den Männern Dank wissen, welche damals, zu Beginn des vorigen Jahrhunderts, unsere Körperschaft durch die dunklen Zeiten der Fremdherrschaft zu lichteren Höhen hindurchgeführt haben, so werden spätere Generationen auch unser Pflichtgefühl anerkennen, wenn wir heute alle Kräfte daran setzen, die uns auferlegte Prüfungszeit in Ehren zu bestehen, indem wir durchhalten und weiterarbeiten.

Für die Redaktion verantwortlich: *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W. 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. 9. — Druck von H. S. Hermann in Berlin SW.

r-
ften

ng-
lge.
der
keit
ng-
nta-
des
rch
rch
tion
we-
ser-
die
lben

e.

sten
etzt
ung,
oder
nmt,
ich
kre-
sie
n es
als
So
rade
Vehr
were
hwe-
und
elche
Diese
allen
mie,
Staa-
vahr
wol-
ücks
rden
leut-
von
Gü-
vor
So-
ihr
han-
hres
sicht

ver-
sein
wer-
ssen,
erts,
der
führt
nser
räfte
hren
iten.